

TUGAS AKHIR TL 184834

**ANALISA PENGARUH RASIO MASSA
LIMESTONE DAN DOLOMIT TERHADAP
KADAR Ni, KEKUATAN DAN PEROLEHAN
SINTER PADA PROSES SINTERING BIJIH
NIKEL LATERIT**

HABLI MASYAHID
NRP. 02511540000106

Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR TL 184834

**ANALISA PENGARUH RASIO MASSA
LIMESTONE DAN DOLOMIT TERHADAP
KADAR Ni, KEKUATAN DAN PEROLEHAN
SINTER PADA PROSES SINTERING BIJIH
NIKEL LATERIT**

**HABLI MASYAHID
NRP. 0251154000106**

**Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT TL 184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF LIMESTONE AND
DOLOMIT MASS RATIO TO THE Ni CONTENT,
SINTER STRENGTH AND YIELD ON SINTERING
PROCESS OF LATERITE NICKEL ORE**

**HABLI MASYAHID
NRP. 0251154000106**

**Advisors
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.
Fakhreza Abdul, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(This page left intentionally blank)

**ANALISA PENGARUH RASIO MASSA LIMESTONE
DAN DOLOMIT TERHADAP KADAR Ni,
KEKUATAN DAN PEROLEHAN SINTER PADA
PROSES SINTERING BIJIH NIKEL LATERIT**

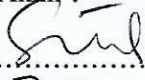

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HABLI MASYAHID
NRP. 02511540000106

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sungging Pintowantoro, Ph. D..........(Pembimbing I)
2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T.......... (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH RASIO MASSA LIMESTONE
DAN DOLOMIT TERHADAP KADAR Ni,
KEKUATAN DAN PEROLEHAN SINTER PADA
PROSES SINTERING BIJIH NIKEL LATERIT**

Nama Mahasiswa : Habli Masyahid
NRP : 0251154000106
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing 1 : Sungging P., S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

Abstrak

Ketersediaan cadangan bijih nikel laterit yang berlimpah di Indonesia belum mampu dimanfaatkan secara maksimal untuk memenuhi permintaan nikel yang terus meningkat. Untuk menjajaki kemungkinan penggunaan bijih nikel laterit tersebut, saat ini sedang dikembangkan satu proses alternatif yakni sintering-blast furnace yang akan menghasilkan feronikel. Proses blast furnace yang optimal membutuhkan produk sinter yang berkualitas. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas produk sinter adalah penggunaan fluks. Penelitian sintering bijih nikel laterit ini dilakukan dengan menggunakan fluks limestone dan dolomit serta bahan bakar arang. Dilakukan perhitungan kebutuhan arang dan limestone menggunakan neraca panas dan neraca massa, kemudian ditambahkan massa limestone dan dolomit pada rasio: 100% limestone tanpa dolomit, 75% limestone 25% dolomit, 50% limestone 50% dolomit, 25% limestone 75% dolomit, serta 100% dolomit dan tanpa limestone pada feed material. Feed material dimasukkan dalam furnace, lalu dipanaskan hingga temperatur 1200°C dengan waktu sintering selama 4 jam. Selanjutnya dilakukan perhitungan perolehan sinter dan pengujian EDX, XRD serta Drop Test untuk mengetahui kadar Ni, senyawa dalam sinter dan kekuatan sinter. Dari pengujian tersebut dapat diketahui penggunaan rasio limestone dan dolomit yang optimal dalam proses sintering. Kadar Ni tertinggi didapatkan pada penggunaan 100% limestone yakni sebesar 2,5%. Kekuatan dan perolehan sinter

tertinggi juga pada penggunaan 100% limestone yakni sebesar 68,85% dan 86,44%.

Kata Kunci: Sintering, Nikel Laterit, Limestone, Dolomit, Kadar Ni, Kekuatan Sinter, Sinter Yield.

ANALYSIS THE EFFECT OF LIMESTONE AND DOLOMIT MASS RATIO TO THE GRADE OF Ni, SINTER STRENGTH, AND YIELD ON SINTERING PROCESS OF NICKEL LATERITE ORE

Name of Student : Habli Masyahid
NRP : 0251154000106
Department : Teknik Material
1st Advisor : Sungging P., S.T., M.T., Ph.D.
Co-Advisor : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

Abstract

The availability of abundant laterite nickel ore reserves in Indonesia has not been able to be fully utilized to meet the increasing demand for nickel. To explore the possibility of using laterite nickel ore, an alternative process is being developed, the namely sintering-blast furnace which will produce ferronickel. The optimal blast furnace process requires good quality sintered products. One of the factors that influence the quality of sintered products is the use of flux. The research on the sintering of laterite nickel ore was carried out using limestone and dolomite flux and charcoal fuel. Calculations of charcoal and limestone requirements are carried out using a heat balance and mass balance, then the limestone and dolomite are added on ratio: 100% limestone without dolomite, 75% limestone 25% dolomite, 50% limestone 50% dolomite, 25% limestone 75% dolomite, and 100% dolomite without limestone in the feed material. Feed material is inserted in the furnace, then heated to a temperature of 1200oC with the sintering time for 4 hours. Then the calculation of the sintering and testing of EDX, XRD and Drop test was performed to determine the content of Ni, compounds in sinter product, and sintered strength. From these tests, the optimal use of limestone and dolomite ratios in the sintering process can be obtained. The highest Ni content is obtained at the use of 100% limestone which is equal to 2.5%. The highest strength and acquisition of sintered is also the use of 100% limestone which is equal to 68.85% and 86.44%.

Keywords: Sintering, Laterite Nickel, Limestone, Dolomite, Ni Grade, Sinter Strength, Sinter Yield.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul “Analisa Pengaruh Rasio Massa *Limestone* dan Dolomit Terhadap Kadar Ni, Kekuatan, dan Perolehan *Sinter* Pada Proses *Sintering* Bijih Nikel Laterit”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan studi yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. yang telah menuangkan segala bimbingan, ilmu dan pelajaran mengenai tugas akhir dan kehidupan selama berada di Laboratorium Teknologi Pengolahan Mineral dan Material.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Material FTI-ITS
4. Orang tua penulis Zulfahmi dan Yuniar Risda serta kedua saudari penulis Ulfia Firzatinnajmi dan Azkia Hidayati Hanifa yang telah mendukung penulis baik secara materiil maupun non-materiil melalui doa, motivasi dan semangat yang tak ternilai harganya.

Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nikel.....	7
2.2 Nikel Laterit	8
2.3 Arang.....	10
2.4 <i>Limestone</i>	11
2.5 Dolomit	13
2.6 Proses <i>Sintering</i>	14
2.7 Kualitas <i>Sinter</i>	16
2.8 Termodinamika <i>Sintering</i> Nikel Laterit	19
2.9 Aerodinamika <i>Sintering</i> Nikel Laterit.....	24
2.10 Penelitian Sebelumnya.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Bahan Penelitian	31
3.2 Peralatan Penelitian.....	33
3.3 Pelaksanaan Penelitian	37
3.4 Neraca Massa <i>Sintering</i> Nikel Laterit.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	

4.1	Karakterisasi Bahan Penelitian	49
4.2	Pengaruh Rasio Massa <i>Limestone</i> dan Dolomit Terhadap Kadar Ni Produk <i>Sinter</i>	54
4.3	Pengaruh Rasio Massa <i>Limestone</i> dan Dolomit Terhadap Senyawa pada Produk <i>Sinter</i>	56
4.4	Pengaruh Rasio Massa <i>Limestone</i> dan Dolomit Terhadap Kekuatan <i>Sinter</i>	60
4.5	Pengaruh Rasio Massa <i>Limestone</i> dan Dolomit Terhadap Perolehan <i>Sinter</i>	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		73
BIODATA PENULIS		105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Alir Proses Pengolahan Laterit.....	9
Gambar 2.2	Skema Proses <i>Sintering</i>	15
Gambar 2.3	Mekanisme Granulasi Mikropartikel	16
Gambar 2.4	Dimensi Alat Uji <i>Drop Test</i>	18
Gambar 2.5	Diagram Ellingham	20
Gambar 2.6	Prinsip Fluidisasi (a) Material dalam Keadaan Diam dan (b) Material Terfluidisasi.....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2	Bijih Nikel Laterit	31
Gambar 3.3	Arang Kayu	32
Gambar 3.4	<i>Limestone</i>	32
Gambar 3.5	Dolomit	33
Gambar 3.6	<i>Sintering Bed Furnace</i>	34
Gambar 3.7	Timbangan Digital	35
Gambar 3.8	<i>Mesh</i>	35
Gambar 3.9	<i>Thermometer Infrared</i>	36
Gambar 3.10	<i>Blower</i>	36
Gambar 3.11	Anemometer.....	37
Gambar 3.12	Susunan Peralatan <i>Sintering</i>	39
Gambar 3.13	Alat <i>Drop Test</i>	39
Gambar 3.14	Alat Uji EDX	42
Gambar 3.15	Alat Uji XRD PAN Analytical.....	43
Gambar 4.1	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit	50
Gambar 4.2	Hasil Pengujian XRD <i>Limestone</i>	52
Gambar 4.3	Hasil Pengujian XRD Dolomit.....	54
Gambar 4.4	Pengaruh Rasio Massa Fluks Terhadap Kadar Ni pada Produk <i>Sinter</i>	55
Gambar 4.5	Hasil Pengujian XRD <i>Sinter</i>	57
Gambar 4.6	Pengaruh Rasio Massa Fluks Terhadap Kekuatan <i>Sinter</i>	61
Gambar 4.7	Pengaruh Rasio Massa Fluks Terhadap Perolehan <i>Sinter</i>	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Komposisi Arang, Kokas dan Batubara	11
Tabel 3.1 Dimensi <i>Sintering</i> Bed Furnace.....	34
Tabel 3.2 Target <i>Sintering</i> Nikel Laterit.....	47
Tabel 3.3 Perbandingan Komposisi Ore : Arang : Fluks	47
Tabel 3.4 Rancangan Penelitian	48
Tabel 4.1 Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit	49
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Proximate Analysis</i> Arang.....	51
Tabel 4.3 Hasil Pengujian EDX <i>Limestone</i>	52
Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX Dolomit	53
Tabel 4.5 Identifikasi Fasa pada Produk <i>Sinter</i>	58

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu jenis mineral dengan jumlah yang sangat berlimpah di alam. Mineral ini banyak digunakan sebagai salah satu bahan baku untuk membuat baja tahan karat, baja tahan temperatur tinggi, bahan magnet, proses pelapisan logam, paduan logam bukan besi (*non ferrous*), katalis, sel bahan bakar (*fuel cell*) dan bahan kimia. Penggunaan nikel sebagai bahan baku yang sangat luas mengakibatkan pola produksi nikel di dunia cenderung meningkat seiring berkembangnya waktu, dimana produksi nikel di dunia pada saat ini telah meningkat sebanyak 10 kali lipat bila dibandingkan dengan produksi nikel pada tahun 1950 (Oxley & Barcza, 2013).

Di dunia pada saat ini dikenal 2 jenis sumber bahan baku utama nikel yaitu dari bijih nikel sulfida dan bijih nikel oksida (laterit) yang kemudian digolongkan menjadi 2 jenis yaitu laterit jenis saprolit dan laterit jenis limonit (Rhamdhani, dkk. 2009). Jika dilakukan perbandingan dengan bijih sulfida, bijih nikel laterit terdiri dari 73% dari sumber nikel dunia (lebih banyak di bandingkan bijih sulfida) dan akan menjadi sumber utama produksi nikel di masa depan. Pada kenyataannya, sekarang ini produksi dari bijih nikel laterit hanya sekitar 42% dari keseluruhan produksi nikel. Pengolahan bijih nikel laterit masih belum terlalu banyak dikarenakan kadarnya yang sangat rendah dan belum ada proses yang optimal untuk mengolahnya (Jungah, 2010).

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya nikel. Adapun lokasi sumber daya laterit di Indonesia berada di Kawasan Indonesia Timur (KTI) terutama di Sulawesi Tenggara, Halmahera Maluku Utara, dan pulau Gag kepulauan Waigeo Papua. Menurut Badan Geologi DJMB (Direktorat Jenderal Mineral Batubara) 2013, sumber daya laterit di Indonesia mencapai 3.565 juta ton bijih (lebih dari 3,5 milyar ton) atau setara dengan 52,2 juta ton logam Ni. Sedangkan jumlah cadangan laterit mencapai 1.168 juta ton bijih (lebih dari 1,1 milyar ton). Sebelum

2014, Indonesia melakukan ekspor bijih nikel laterit jenis saprolit ke Jepang dan jenis limonit dengan persyaratan tertentu ke Australia, saprolite kadar rendah ($Ni > 1,5\%$) ke China, Yunani, Ukraina, dan ke negara lainnya (Prasetyo, 2016). Akan tetapi dengan berlakunya UU No. 4 Tahun 2009 yang mulai diberlakukan 12 Januari 2014, mewajibkan untuk mengolah bahan baku mineral dalam negeri dan menghentikan ekspor bahan baku mineral, sehingga untuk mendapatkan logam nikel dari bijih nikel laterit yang tersedia di Indonesia perlu dilakukan kegiatan penelitian guna mendapatkan teknologi yang sesuai dengan karakteristik bijih nikel laterit yang ada di Indonesia.

Teknologi pengolahan bijih nikel laterit terbagi menjadi 2 proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Proses pirometalurgi meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi/reduksi, *electric furnace smelting*, dan pemurnian (*refining/converting*). Hasil dari proses pirometalurgi berupa ferronikel atau Matte Smelting. Pada proses hidrometalurgi terbagi lagi menjadi 2 proses yaitu *Caron Process* dan *HPAL Process*. *Caron Process* meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *amonical leaching*, dan *purification & recovery*. Hasil dari *caron process* berupa Ni dan Co. Sedangkan pada *HPAL Process* meliputi beberapa proses yaitu *high pressure leaching*, *CCD & Neutralization*, presipitasi, *purification & recovery*. Hasil dari *HPAL Process* juga berupa Ni dan Co (Dalvi, Bacon & Osborne, 2004)

Reaktor yang akan dipilih nantinya dalam penelitian ini adalah *Mini Blast Furnace (MBF)*. Salah satu feed material pada reaktor *mini blast furnace* adalah fluks. Fluks berguna untuk menjaga tingkat basisitas *slag* agar proses pengolahan / smelting dapat berjalan dengan baik. Akan tetapi, jika fluks tersebut langsung dimasukkan dalam *mini blast furnace* maka akan membutuhkan banyak energi untuk menaikkan temperatur fluks tadi. Sehingga, fluks akan lebih baik ditambahkan saat proses persiapan material sebelum masuk ke dalam *mini blast furnace*. Proses *sintering* bijih nikel laterit dilakukan untuk menyiapkan umpan yang akan dimasukkan ke dalam *Blast Furnace*. *Sinter* yang berkualitas dari

proses *sintering* diperhatikan dari mikrostruktur, sifat fisik dan metalurginya. Untuk mendapatkan *sinter* yang berkualitas maka perlu dilakukan suatu penelitian tentang pengaruh variabel tertentu dalam proses *sintering* bijih nikel laterit, salah satu variabelnya adalah pengaruh rasio massa fluks yang nanti akan berpengaruh pada kualitas *sinter* yang dihasilkan dari proses *sintering*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Feng Tahun 2011 mengenai pengaruh penggunaan dua jenis *quicklime* yang berbeda terhadap perolehan *sinter* dan kekuatan *sinter*. Dalam penelitian tersebut dilakukan penambahan kedua jenis *quicklime* dengan rasio tertentu yang dibandingkan dengan penambahan satu jenis *quicklime* saja. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan fluks satu jenis *quicklime* menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan kedua jenis *quicklime*. Namun dalam penelitian ini jenis fluks yang digunakan sebatas *quicklime* saja. *Quicklime* merupakan jenis fluks dengan senyawa dominan CaO. Zhang Tahun 2013 juga melakukan penelitian tentang optimisasi penggunaan dolomit dalam proses *sintering* ore Fe. Dolomit digunakan sebagai fluks lalu dilakukan perbandingan dengan jenis fluks *serpentine* untuk mengetahui kekuatan *sinter* yang dihasilkan dari kedua jenis fluks menggunakan *shatter index*. Hasil dari pengujian menyatakan bahwa *serpentine* memiliki kekuatan *sinter* yang lebih tinggi dibandingkan dolomit. Akan tetapi dalam penelitian ini dolomit dibandingkan dengan *serpentine* yang kaya akan unsur Mg dan Si namun jumlah Ca yang sedikit. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit untuk melihat pengaruh kadar fluks sehingga dapat dilihat pengaruhnya terhadap kadar Ni, kekuatan dan perolehan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit ini. Fluks yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *limestone* dan dolomit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit pada proses *sintering* bijih nikel laterit terhadap kadar unsur Ni yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit pada proses *sintering* bijih nikel laterit terhadap kandungan senyawa dalam *sinter* yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit pada proses *sintering* bijih nikel laterit terhadap perolehan *sinter* yang dihasilkan?
4. Bagaimana pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit pada proses *sintering* bijih nikel laterit terhadap kekuatan *sinter* yang dihasilkan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan rumusan masalah diatas, tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh rasio massa komposisi *limestone* dan dolomit terhadap kadar Ni *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit.
2. Menganalisa pengaruh rasio massa komposisi *limestone* dan dolomit terhadap kandungan senyawa dalam *sinter* yang dihasilkan pada proses *sintering* bijih nikel laterit.
3. Menganalisa pengaruh rasio massa komposisi *limestone* dan dolomit terhadap kekuatan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit.
4. Menganalisa pengaruh rasio massa komposisi *limestone* dan dolomit terhadap perolehan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Komposisi bijih nikel laterit dan arang yang digunakan diasumsikan homogen.
2. Bijih nikel laterit yang digunakan adalah bijih nikel laterit dari Sulawesi Tenggara

3. Fluks yang digunakan adalah *limestone* dan dolomit.
4. *Limestone* yang digunakan adalah *limestone* dari Sulawesi Tenggara
5. Dolomit yang digunakan adalah dolomit dari Sulawesi Tenggara
6. Arang yang digunakan adalah arang kayu dari Kenjeran, Surabaya.
7. Temperatur di bagian luar dan bagian dalam *furnace* dianggap sama.
8. Waktu *sintering* dianggap sama.
9. Laju aliran udara dianggap sama.
10. Tebal *bed* dari *feed material* dianggap sama.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (rasio massa komposisi fluks) yang optimal untuk meningkatkan kekuatan dan perolehan *sinter* serta kadar nikel pada proses *sintering* bijih nikel laterit yang berasal dari Sulawesi Tenggara menggunakan *sintering furnace*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel

Nikel merupakan salah satu jenis mineral unggulan dengan sumber daya dan cadangan yang berlimpah di dunia. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai *superalloy* dan paduan non logam karena sifatnya yang tahan korosi dan tahan pada suhu tinggi (Astuti, dkk. 2012). Banyak bahan paduan yang dibuat berbasis bahan nikel karena memiliki kekuatan struktur terhadap proses *creep*, *fatigue*, dan kestabilan permukaan (oksidasi dan korosi) pada suhu tinggi seperti yang digunakan pada mesin pesawat dan turbin gas pembangkit listrik (Mabruri, dkk. 2008). Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki sumber daya nikel yang besar. Menurut Ditjen Minerba pada Tahun 2017, sumber daya nikel Indonesia mencapai angka 4,3 milyar ton. Sumber daya mineral nikel banyak terdapat di Provinsi Sulawesi Tenggara dengan persebaran yang hampir ada di seluruh wilayahnya dengan perkiraan luas sebaran mencapai 480.032,13 ha.

Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida. Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi. Deposit tersebut biasanya menunjukkan lapisan yang berbeda karena kondisi cuaca. Lapisan pertama adalah lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh gutit [FeO(OH)] dan hematit (Fe₂O₃). Lapisan berikutnya adalah saprolit [(Ni, Mg) SiO₃.nH₂O)] yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal. Lapisan terakhir adalah batuan dasar yang berubah dan tidak berubah. Antara lapisan saprolit dan limonit biasanya ada lapisan transisi yang kaya magnesium (10-20% Mg) dengan besi yang disebut serpentine [Mg₃Si₂O₅(OH)]. Untuk deposit laterit yang ideal, lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan

kadarnya, sedangkan peningkatan kadar untuk lapisan saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel. Hal ini merupakan perbedaan utama antara bijih laterit dan bijih sulfida yang dapat dibenefisiasi dari 10% menjadi 28% (Yildirim, dkk. 2013).

2.2 Nikel Laterit

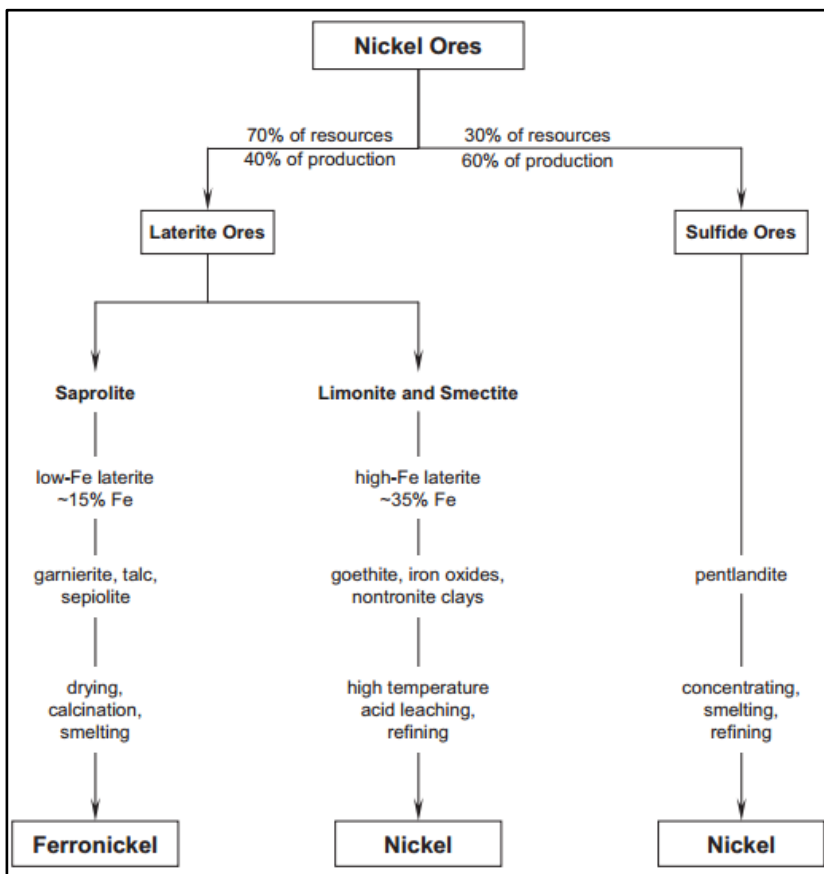
Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi (Syafrizal dkk, 2011). Logam nikel banyak dimanfaatkan untuk pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*). Nikel merupakan logam berwarna kelabu perak yang memiliki sifat fisik antara lain:

1. Kekuatan dan kekerasan nikel menyerupai kekuatan dan kekerasan besi.
2. Mempunyai sifat daya tahan terhadap karat dan korosi
3. Pada udara terbuka memiliki sifat yang lebih stabil daripada besi. istilah *Laterit* berasal dari bahasa latin yaitu *later*, yang artinya bata (membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata). (Guilbert, 1986).

Dalam beberapa penelitian terakhir, dapat disimpulkan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Diantara alasannya antara lain:

1. Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida.
2. Karena bijih sulfida terletak pada *hard rock*, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih nikel laterit yaitu pada dasarnya dilakukan berpindah-pindah sehingga menjadikan biaya yang lebih rendah.
3. Produksi nikel sulfida menimbulkan masalah lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit.

4. Proses produksi nikel laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif. (Li, 1999).



Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pengolahan Laterit
(Crundwell, 2011)

Proses pengolahan bijih nikel laterit dibagi menjadi dua yaitu pengolahan secara pirometalurgi dan hidrometalurgi. Gambar 2.1

menunjukkan diagram alir proses pengolahan nikel laterit yang secara umum dilakukan. Proses pengolahan secara pirometalurgi pada umumnya hanya dapat menghasilkan nikel dengan kadar 1,50%, sedangkan rata-rata kadar nikel laterit dunia sekitar 1,45% sehingga pengolahan pirometalurgi secara konvensional menjadi tidak efektif. Proses pengolahan laterit secara hidrometalurgi dengan ammonia *leaching* atau HPL (*high pressure leaching*) dengan asam sulfat pada awalnya dianggap efektif dalam peningkatan kadar Ni. Namun setelah diteliti lebih jauh, proses *leaching* dapat menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serta dapat meningkatkan biaya produksi (Mayangsari & Prasetyo, 2016).

2.3 Arang

Arang aktif merupakan suatu bahan berupa karbon amorf yang sebahagian besar terdiri atas atom karbon bebas dan mempunyai permukaan dalam sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik (Surtamtomo, dkk. 1997). Bahan ini mampu mengadsorpsi anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas (Pari, dkk. 2006). Arang aktif dapat dibedakan dari arang berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan pada arang masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang dapat menghambat keaktifannya, sedangkan pada arang aktif permukaannya relatif telah bebas dari deposit sehingga mampu mengabsorpsi karena permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka (Gomez-Serrano, dkk. 2003).

Pembuatan arang aktif dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pembentukan arang bersifat amorf dan porous pada suhu rendah. Tahap kedua adalah proses pengaktifan untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang supaya porositas arang meningkat. Aktivasi arang untuk menghasilkan arang aktif dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara kimia dan fisika. Aktivasi cara kimia dilakukan dengan cara perendaman arang dalam larutan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Aktivasi arang dengan cara fisika biasanya menggunakan oksidator lemah, antara lain uap air (H O), gas CO₂,

dan nitrogen (Guerrero & Collamates, 1970). Pada proses ini tidak terjadi oksidasi terhadap atom karbon penyusun arang, akan tetapi oksidator tersebut hanya mengoksidasi komponen yang menutupi permukaan pori arang (Manocha, 2003). Beberapa bahan yang mengandung karbon dalam jumlah banyak seperti kayu, serbuk gergajian kayu, kulit biji, tempurung, gambut, batu bara, dan dapat dibuat arang aktif. Sifat arang aktif dipengaruhi oleh bahan baku dan cara aktivasi yang digunakan (Austin, 1984).

Penggunaan arang dapat mengurangi emisi gas CO₂ sebesar 34,7%, mengurangi *slag* dari 182,83 kg menjadi 167,76 kg/ton *hot metal* serta mengurangi biaya produksi sebesar 2,55% jika dibandingkan dengan penggunaan kokas sebagai bahan bakar. Penggunaan arang juga dapat mengurangi limbah sulfur karena persentase sulfur dalam arang jauh lebih sedikit dibanding kokas dan batubara dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Bruzual, 2014).

Tabel 2.1 Perbandingan Komposisi Arang, Kokas dan Batubara (Bruzual, 2014)

	<i>Fixed carbon</i> (wt%)	Oksigen (wt%)	Sulfur (wt%)	<i>Moisture</i> (wt%)	<i>Ash</i> (%)	<i>Volatile</i> (wt%)	Harga (USD/ton)
Kokas	86,00	0,00	0,65	1,27	10,56	0,98	497,99
Batu-bara	76,24	2,13	0,39	3,04	9,73	7,92	134,37
Arang	74,14	7,07	0,02	7,07	0,5	15,81	181,34

Selain itu, arang juga mampu menghasilkan *Higher Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV) yang lebih baik dari kokas namun masih di bawah batubara tipe antrasit dan bituminous (Susta, 2005).

2.4 Limestone

Limestone adalah salah satu jenis batu yang paling umum ditemukan di permukaan bumi. *Limestone* merupakan salah satu batuan sedimen yang memiliki kandungan utama yang berupa kalsium karbonat (CaCO₃). *Limestone* juga dapat disebut sebagai batu gamping / kalsium. Namun dalam beberapa hal, *limestone*

juga dikatakan sebagai batu kapur. Meski tampilan fisik dari limestone dan batu kapur sekilas sama, akan tetapi senyawa yang komponen penyusun dari *limestone* dan batu kapur berbeda. Yang membedakan yaitu, kandungan utama pada *limestone* yaitu kalsium karbonat (CaCO_3) yang kadarnya sekitar 55 - 95% dengan kandungan MgCO_3 kurang dari 10%, sedangkan kandungan utama pada batu kapur atau bisa disebut juga sebagai dolomit yaitu kalsium magnesium karbonat ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dengan masing-masing kandungan CaCO_3 kurang dari 55% dan MgCO_3 antara 10 - 45% (Lamar, 1938).

Seperti yang diketahui bahwa batu kapur mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat yaitu sekitar 95%. Kandungan kalsium karbonat ini dapat diubah menjadi kalsium oksida dengan kalsinasi sehingga lebih mudah terdekomposisi menghasilkan kalsium oksida (CaO). Dengan cara ini, batu kapur dapat dimanfaatkan sebagai penyedia gas CO_2 dalam proses reduksi. Gas CO_2 ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard). Gas CO_2 diperoleh dari reaksi dekomposisi CaCO_3 . Reaksi dekomposisi CaCO_3 berlangsung secara spontan, sesuai Persamaan 2.1:



Munculnya fase oksida dari kalsium dikarenakan pada suhu 750°C CaCO_3 mengalami dekomposisi akibat energi panas dan membentuk CaO . Berdasarkan referensi dari para peneliti disebutkan bahwa CaO seringkali dihasilkan melalui kalsinasi CaCO_3 secara langsung dengan temperatur tinggi. Elemen – elemen yang terkandung pada CaCO_3 tidak hanya elemen penyusun kalsium namun juga terdapat beberapa elemen lain, seperti kalium, silikon, sodium, potassium, aluminium, dan oksigen yang akan mengalami penurunan kadar seiring dengan meningkatnya temperatur kalsinasi kecuali kalsium (Ca) yang kadarnya semakin meningkat (Noviyanti, dkk, 2015).

2.5 Dolomit

Mineral dolomit merupakan variasi dari batu gamping (CaCO_3) dengan kandungan mineral karbonat $> 50\%$. Istilah dolomit pertama kali digunakan untuk batuan karbonat tertentu yang terdapat di daerah Tyrolean Alpina (Pettijohn, 1956). Dolomit dapat terbentuk baik secara primer maupun sekunder. Secara primer dolomit biasanya terbentuk bersamaan dengan proses mineralisasi yang umumnya berbentuk urat-urat. Secara sekunder, dolomit umumnya terjadi karena terjadi pelindihan (leaching) atau peresapan unsur magnesium dari air laut kedalam batugamping atau istilah ilmiahnya proses *dolomitisasi*. Proses dolomitisasi adalah proses perubahan mineral kalsit menjadi dolomit. Klasifikasi dolomit dalam perdagangan mineral industri didasarkan atas kandungan unsur magnesium (Mg), kandungan mineral dolomit dan unsur kalsium (Ca). Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk CaCO_3 dan CO_2 disertai dengan pembentukan MgO pada temperatur antara $700\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $750\text{ }^\circ\text{C}$. Reaksi yang terjadi terdapat pada Persamaan 2.2 berikut ini.

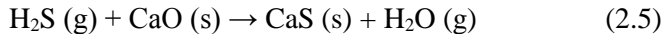


Pada temperatur yang lebih tinggi, CaCO_3 akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO_3 akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi pada Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4 berikut.



Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur $780\text{--}785\text{ }^\circ\text{C}$ serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur $950\text{--}960\text{ }^\circ\text{C}$ (Engler, dkk. 1988). Dalam penelitian ini dolomit yang digunakan berperan sebagai penyedia gas CO_2 dalam proses reduksi. Gas CO_2 ini berguna untuk reaksi

pembentukan gas CO (Reaksi Boudouard). Gas CO₂ diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO₃. Selain itu dolomit juga berperan sebagai *flux agent* atau pengikat pengotor. Dolomit dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara pada *range* temperatur 870 – 1037 °C (Spencer, 1985), dengan reaksi yang terdapat pada Persamaan 2.5.

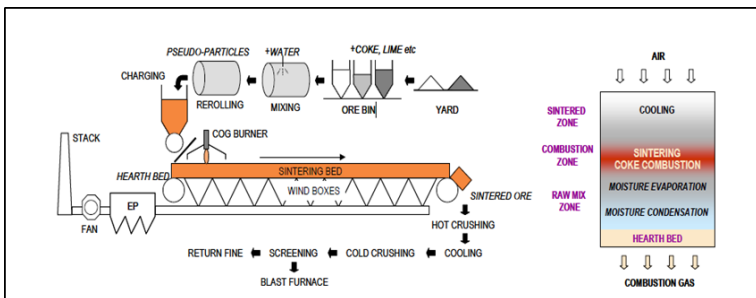


2.6 Proses Sintering

Sinter merupakan sebutan untuk hasil dari proses *sintering*. *Sinter* sendiri merupakan umpan utama bagi *Blast Furnace*. Persyaratan untuk bahan muatan kasar untuk tungku blast mengharuskan aglomerasi bijih halus. Salah satu metode untuk denda aglomerasi adalah dengan *sintering*. *Sintering* adalah proses memanaskan material halus ke suhu tinggi tanpa fusi lengkap sehingga partikel kecil yang padat bersentuhan satu sama lain dan menggumpal menjadi partikel yang lebih besar dan lebih berguna. Skema proses *sintering* secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.2. Mekanisme dominan dalam aksi *sintering* adalah difusi permukaan dan fusi baru terjadi, dan keduanya terjadi dalam *sintering* komersial bijih. Langkah-langkah utama dari *sintering* bijih besi proses diantaranya adalah:

1. Pencampuran, bijih dari berbagai pemasok dicampur dengan *return fines*. Kemudian reduktan seperti kokas atau antrasit, dan fluks seperti *limestone*, dolomit, atau serpentine ditambahkan dengan campuran bijih tadi.
2. Granulasi, bijih yang telah dicampur dengan bahan reduktan dan fluks digranulasi dengan air dalam satu atau lebih drum granulasi. Hal ini dilakukan untuk mempersempit distribusi ukuran campuran dan dengan demikian juga meningkatkan permeabilitas material yang akan dilanjutkan proses *sintering* pada *bed sintering* terhadap aliran udara. Sifat bijih yang penting pada proses granulasi ini adalah distribusi ukurannya, porositas, bentuk dan mineraloginya.

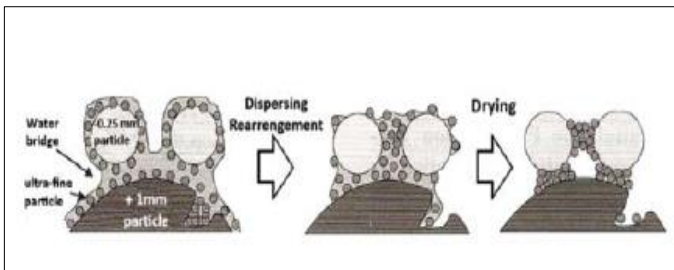
3. *Sintering*, campuran granulasi sebelumnya diberikan nyala api kemudian dari bawah *bed sintering* juga terdapat *flame front* sehingga mengurangi kelembaban pada campuran, kalsinasi geotit dan fluks dan lelehan yang mengikat *sinter*. Reaktivitas dari lelehan awal yang terbentuk dari lapisan halus yang menempel (-0.25 mm) dan asimilasi partikel-partikel inti berikutnya (-1 + 0,71 mm), memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas *sinter* yang dihasilkan (Loo, 1998)
4. Pendinginan dan penyaringan, *sinter* didinginkan diikuti dengan penghancuran dan penyaringan *sinter* ke dalam ukuran yang sesuai untuk diisi ke *blast furnace*.



Gambar 2.2 Skema Proses *Sintering*
(Sumber: Yang, 2005)

Granulasi adalah mekanisme dasar terpenting dalam proses *sintering*, sebagai permeabilitas *sinter bed* yang baik sangat menentukan tingkat di mana proses tersebut dapat terjadi dan mempengaruhi produktivitas *sinter plant*. Sebuah *quasiparticle* terdiri dari inti bijih besi, yang selama *sintering* tetap meleleh sebagian, dikelilingi oleh bijih-bijih yang lebih halus dengan basisitas yang lebih tinggi (CaO/SiO_2). Partikel $>0,7$ mm bertindak sebagai inti sementara partikel $<0,2$ mm bertindak sebagai penyokong yang melekat di permukaan. Penambahan kandungan air pada *raw material* selama granulasi akan membantu memisahkan partikel menempel pada inti kasar, tetapi dengan

cepat menjadi terlepas lagi selama pengeringan. Pada proses *sintering*, *sinter* terbentuk pada lapisan yang terdapat pada inti karena reaksi padat-cair antara hematit dan lelehan $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ yang mengandung kecil jumlah SiO_2 dan Al_2O_3 . Adhesi sangat tinggi dipengaruhi oleh kelembaban yang tersedia untuk granulasi. Mekanisme granulasi mikropartikel dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Cores, dkk. 2013)



Gambar 2.3 Mekanisme Granulasi Mikropartikel
(Sumber : Cores, dkk. 2013)

2.7 Kualitas *Sinter*

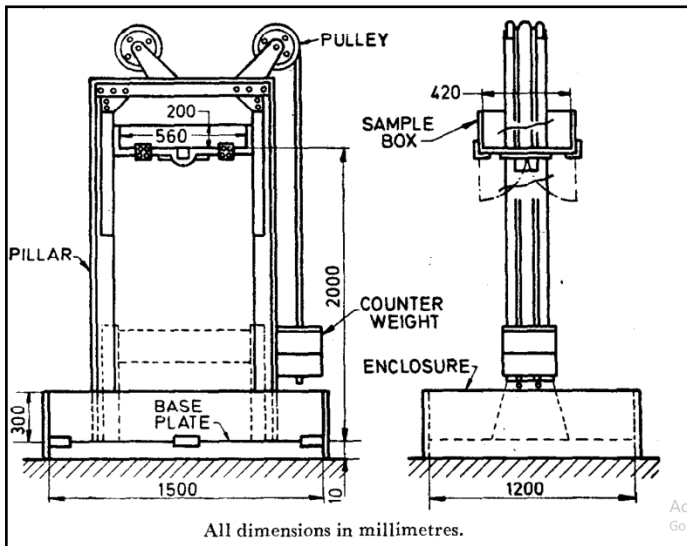
Kualitas *sinter* mengacu pada sifat-sifat fisik dan metalurgi yang dimiliki oleh *sinter* tersebut. Kualitas *sinter* biasanya ditentukan melalui beberapa cara:

1. Penentuan kekuatan fisik *sinter* pada temperature kamar yang dilakukan dengan pengujian *shatter* atau *tumbler*.
2. Reduksi pada temperatur rendah (550°) yang dilakukan dengan pengujian degradasi reduksi (RDI).
3. *Reducibility sinter* yang dilakukan dengan uji reduksi (*reducibility test*) pada 900°C .
4. Penentuan sifat-sifat *melting* dan *softening sinter* pada temperature tinggi.

Sinter merupakan suatu agregat yang terdiri atas fasa-fasa yang berikatan, partikel-partikel yang tidak meleleh, dan juga terdapat pori. Sehingga kualitas *sinter* sangat ditentukan mikrostruktur dan komposisi fasa *sinter*. Ukuran, bentuk, distribusi

dan interaksi antar fasa dalam *sinter* merupakan faktor-faktor yang amat penting (Bristow, 1991). Kualitas *sinter* juga berhubungan dengan profil temperatur dalam *sinter bed* saat berlangsung proses *sintering*. Pada *sintering* bijih nikel, kandungan NiO dalam *sinter* berkaitan dengan temperatur maksimum. *Reducibility* meningkat jika luasan di bawah kurva temperatur menurun untuk temperatur diatas 1100° C. Dengan demikian *reducibility* meningkat dengan menurunnya input panas (P. Dawson, 1993).

Dawson Tahun 1984 menyatakan Kekuatan *sinter* dapat ditingkatkan dengan meningkatkan laju kokas sampai pada batas kritis, setelah itu kekuatan menjadi turun. Kekuatan *sinter* diukur menggunakan *drop test* dengan standar India yakni IS 9963. Berdasarkan standar tersebut, *drop test* digunakan untuk mensimulasikan jatuhnya *sinter* dari suatu *conveyor* ke lainnya selama transportasi dari proses *sinter* ke *blast furnace*. Sampel yang digunakan yaitu *sinter* yang memiliki ukuran 5 – 40 mm dengan berat total 20 kg ± 0.2 kg yang sudah dikeringkan di oven pada temperature 105 ± 5 °C. Hasil *sinter* yang sudah dikeringkan, lalu dimasukkan kedalam suatu kontainer dan diangkat dengan ketinggian 2 meter lalu dibiarkan jatuh bebas kebawah mengenai plat besi yang berada dibawahnya. Ukuran kontainer yang digunakan yaitu 560 x 420 x 200 mm dan direkatkan pada suatu dudukan agar ketika sudah dijatuhkan kontainer lebih mudah untuk dinaikkan kembali. Plat besi yang digunakan sebagai alas memiliki ketebalan 10 mm atau lebih, lebar 1200 mm, panjang 1500 mm dan berada pada ketinggian 300 mm. Kontainer yang berisi *sinter* diangkat pada ketinggian 2 m yang dihubungkan dengan suatu beban yang membuat kontainer bisa terangkat lalu, dijatuhkan bebas mengenai plat besi. Sampel *sinter* yang keluar dari kontainer dimasukkan kembali dan diulangi sebanyak 3 kali lalu sampel diayak dengan ukuran 5 mm dan 10 mm. Hasil *sinter* yang tertahan di ayakan lalu ditimbang dan dilakukan perhitungan *shatter index*. Dimensi alat uji *drop test* yang terdapat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Dimensi Alat Uji *Drop Test*
(Bhavan & Zafar, 1981)

Dari hasil *drop test* nantinya akan didapatkan *shatter index* dalam bentuk persentase. *Shatter index* dapat di hitung dengan Persamaan 2.6 atau Persamaan 2.7.

$$\frac{SI}{(+10)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \% \quad (2.6)$$

$$\frac{SI}{(+5)} = \frac{W_3}{W_1} \times 100 \% \quad (2.7)$$

dimana, $S1 = Shatter Index (\%)$

$W1 =$ Massa awal sampel (kg)

$W2 =$ Massa sampel yang tertahan ayakan 10 mm (kg)

$W3 =$ Massa sampel yang tertahan ayakan 5 mm (kg)

(Bhavan & Zafar, 1981)

Shatter Index menunjukkan ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya impak selama proses pengangkutan dan

pengumpulan ke dalam *blast furnace*. Semakin tinggi *shatter index* maka semakin tinggi pula kekuatan *sinter* yang dihasilkan. Sesuai standar IS:9963 tahun 1981 tentang *Drop Test*, nilai *shatter index* minimum yang dimiliki *sinter* berkualitas adalah lebih dari 60%. Perolehan *sinter* juga menjadi tolok ukur keberhasilan proses *sintering*. Proses *sintering* yang optimal akan menghasilkan % *sinter yield* lebih dari sama dengan 65%. Persen *sinter yield* dapat dihitung melalui Persamaan 2.8 (Gupta, 2015).

$$\% \text{ yield} = 100 \% - \frac{m_f}{m_o} \quad (2.8)$$

dimana,

% yield = Perolehan *sinter* (kg)

m_f = Massa total *return fines* yang tersisa (kg)

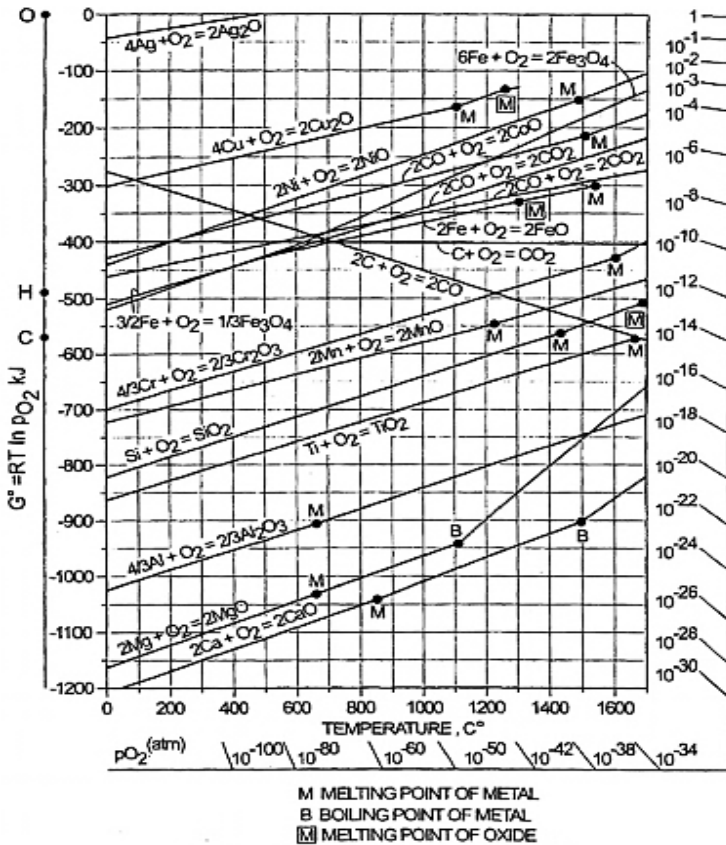
m_o = Massa awal *feed material* (kg)

Perolehan *sinter* yang kurang dari 65% biasanya terjadi karena kurang meratanya panas pada *furnace* terutama pada *layer* paling atas yang berada dalam kondisi terbuka dan dipengaruhi temperatur lingkungan. (Gupta, 2015).

2.8 Termodinamika *Sintering* Nikel Laterit

Fenomena termodinamika *sintering* nikel laterit dapat diketahui menggunakan diagram Ellingham. Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang di plot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas berbanding temperatur. Pada diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram dibagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram dibagian paling atas. Nilai dari ΔG untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai ΔG suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.4 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar reaksi tersebut dapat terjadi. Hal tersebut

dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksidasi dan garis pembentukan CO. Perpotongan antara garis reaksi oksidasi dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berjalan pada temperatur tertentu sehingga dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak (Komarudin, 2008).



Gambar 2.5 Diagram Ellingham (Ross, 1980)

Selain menggunakan diagram Ellingham seperti Gambar 2.5, termodinamika suatu reaksi dapat juga ditentukan melalui

perhitungan energi bebas Gibbs. Energi bebas Gibbs (ΔG) adalah suatu ukuran dari *driving force* yang dapat membuat suatu reaksi terjadi. Untuk menghitung besarnya energi bebas Gibbs digunakan Persamaan Gibbs pada Persamaan 2.9.

$$\Delta G = -T \cdot \Delta S + \Delta H \quad (2.9)$$

dimana, ΔG = perubahan energi Gibbs (J)
 ΔH = perubahan entalpi reaksi (J)
 ΔS = perubahan entropi reaksi (J/K)
T = temperatur absolut reaksi (K)

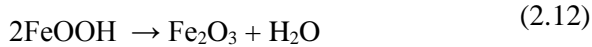
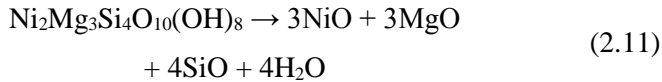
ΔG yang bernilai negatif menunjukkan bahwa suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu reaksi yang memiliki ΔG positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan. Entalpi adalah besaran dari energi yang dilepaskan ketika suatu reaksi berlangsung (panas dari suatu reaksi). Jika entalpinya bernilai negatif maka reaksi tersebut melepaskan energi (eksotermik), sedangkan jika bernilai positif maka reaksi tersebut membutuhkan energi (endotermik). Entropi adalah ukuran dari derajat ketidakteraturan suatu reaksi. Padatan memiliki bentuk yang teratur, cairan memiliki bentuk yang kurang teratur dan gas memiliki ketidakteraturan yang tinggi. (Johansyah, 2012).

Sintering juga merupakan proses cepat dan sulit bahkan tidak mungkin kesetimbangan akan tercapai selama proses *sintering*. Mekanisme reaksi untuk *sintering* bijih nikel laterit dapat dirangkum sebagai berikut :

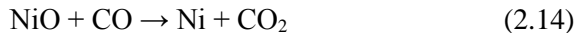
1. Penguapan air dari *liquid* menjadi gas pada temperatur 100°C. terdapat pada Persamaan 2.10.



2. Dekomposisi termal dari mineral laterit menjadi oksida dan uap air pada tempertatur sekitar 700°C terdapat pada Persamaan 2.11 dan 2.12.

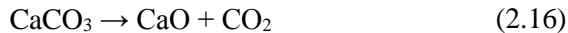


3. Pembentukan gas reduktor dan reduksi oksida logam pada temperatur sekitar 800°C terdapat pada Persamaan 2.13, 2.14, dan 2.15.

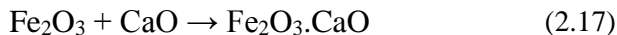


(F. K. Crundwell, dkk. 2011)

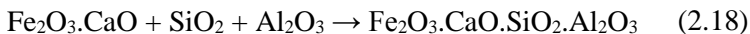
4. Dekomposisi termal dari kalsit pada 550°C terdapat pada Persamaan 2.16:



5. Pembentukan kalsium ferit pada temperatur 950°C terdapat pada Persamaan 2.17:

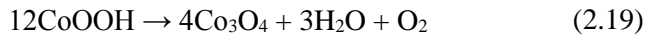


6. Pembentukan silico ferrit of calcium and aluminium (SFCA) pada temperatur 1050°C terdapat pada Persamaan 2.18.

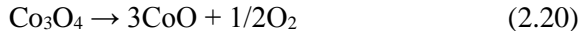


(Nyembwe, 2011)

7. Dekomposisi termal dari heterogenite pada temperatur sekitar 300°C terdapat pada Persamaan 2.19



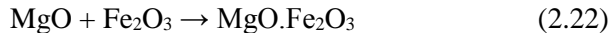
8. Dekomposisi termal dari kobalt oksida pada temperatur sekitar 700°C terdapat pada Persamaan 2.20.



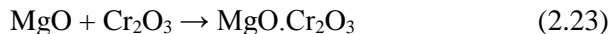
9. Pembentukan nikel ferit pada temperatur 750°C terdapat pada Persamaan 2.21.



10. Pembentukan magnesium ferit pada temperatur 975°C terdapat pada Persamaan 2.22.



11. Pembentukan magnesio-kromit pada temperatur 1100°C terdapat pada Persamaan 2.23.

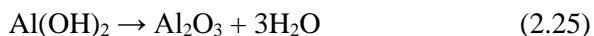


12. Pembentukan cobalt aluminate pada temperatur 1100°C terdapat pada Persamaan 2.24.

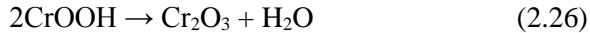


(Bamford & Tipper 2008)

13. Dekomposisi termal dari gibbsite pada temperatur 200°C terdapat pada Persamaan 2.25.



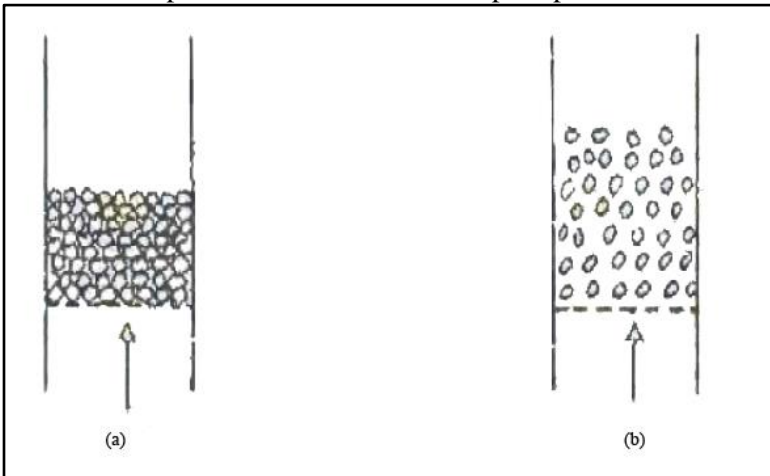
14. Dekomposisi termal bracewellit pada temperatur sekitar 440°C terdapat pada Persamaan 2.26.



(Wells, dkk. 2006)

2.9 Aerodinamika Sintering Nikel Laterit

Peristiwa aliran udara yang terjadi pada proses *sintering* dapat diilustrasikan pada fenomena fluidisasi seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Prinsip Fluidisasi (a) Material dalam Keadaan Diam dan (b) Material Terfluidisasi (Ardani dan Pradana, 2014).

Pada Gambar 2.6 (a) masing-masing butiran akan terpisahkan satu sama lain sehingga dapat bergerak dengan lebih mudah. Sedangkan pada Gambar 2.4 (b) kondisi butiran menyerupai suatu cairan dengan viskositas tinggi, misalnya adanya kecenderungan untuk mengalir, mempunyai sifat hidrostatis dan lain-lain (Ardani & Pradana, 2014).

Aspek utama yang akan ditinjau dalam percobaan ini adalah mengetahui besarnya hilang tekan (*pressure drop*) di

dalam unggun padatan yang terfluidakan. Hal tersebut mempunyai kegunaan yang cukup penting karena erat sekali hubungannya dengan besarnya laju alir gas yang diperlukan serta bisa memberikan gambaran tentang kondisi unggun selama operasi berlangsung. Penentuan besarnya hilang tekan di dalam unggun dapat digunakan persamaan Ergun pada Persamaan 2.27 berikut.

$$\Delta P = \left(\frac{150 \cdot \mu \cdot L}{D_p^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} U_m \right) + \left(\frac{1,75 \cdot \rho \cdot L}{D_p} \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} U_m^2 \right) \quad (2.27)$$

dimana, ΔP = hilang tekan sepanjang *bed* (Pa)
L = tinggi *bed* (m)
 μ = viskositas dinamik fluida (Pa.s)
 ε = fraksi rongga pada *bed*
 ρ = densitas fluida (kg/m³)
Dp = diameter efektif partikel (m)
Um = kecepatan superfisial fluida (m/s)

Maka dengan kecepatan superfisial fluida yang tinggi, hilang tekan akan semakin besar dan viskositas akan semakin tinggi. Dengan semakin naiknya viskositas, maka partikel di dalam unggun akan semakin mudah untuk mengalir dan dapat menyatu dengan partikel lain. Namun apabila kecepatan superfisial fluida terlalu tinggi, maka partikel akan terangkat dan tidak dapat menyatu dengan partikel lain (Ergun, 1952).

2.10 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Feng pada Tahun 2011 yang menganalisa tentang pengaruh penggunaan *quicklime* dengan jenis yang berbeda terhadap perolehan *sinter* dan kekuatan *sinter* yang diukur menggunakan *tumblr index*. Sebelum dilakukan pencampuran penelitian dilakukan pengujian komposisi dari kedua jenis fluks tersebut. *Quicklime-A* mengandung kadar CaO sebesar 90,96% sedangkan *quicklime-B* lebih kecil sebesar 82,01%. Dalam penelitian dilakukan penambahan kedua jenis

quicklime dengan perbandingan 50:50 yang dibandingkan dengan penambahan jenis *quicklime-A* saja. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan fluks jenis *quicklime-A* menghasilkan *tumblr index* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan kedua jenis *quicklime* dengan proporsi tertentu yakni 63% berbanding 60,67%. Hasil perolehan *sinter* dengan jenis *quicklime-A* sebesar 81,73% lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan dua jenis *quicklime* yakni 80,13%. Didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar komposisi CaO *quicklime* yang ditambahkan pada *feed material* akan meningkatkan *tumblr index* dari *sinter* dan juga perolehan *sinter* yang didapatkan. Hal ini dikarenakan CaO memiliki kapasitas mineralisasi yang tinggi sehingga akan menghasilkan karakteristik *sinter* yang berkualitas.

Pada Tahun 2013, Zhang juga melakukan penelitian tentang optimisasi penggunaan dolomit dalam proses *sintering* ore Fe. Dolomit digunakan sebagai fluks lalu dilakukan perbandingan dengan jenis fluks *serpentine* untuk mengetahui kekuatan *sinter* yang dihasilkan dari kedua jenis fluks menggunakan *shatter index*. Hasil dari pengujian menyatakan bahwa *serpentine* memiliki kekuatan *sinter* yang lebih tinggi dibandingkan dolomit. Hal tersebut juga disebabkan fluiditas dan mekanisme pengikatan fasa yang berbeda antara dua fluks yang berbanding lurus dengan kekuatan *sinter* yang diperoleh. Selain itu dilakukan juga penelitian tentang pencampuran konsentrat magnetit dengan dolomit pada saat proses granulasi yang menghasilkan indeks *sintering* yang baik. Hal ini disebabkan kontak antara MgO dan FeOx yang dapat meningkatkan kelarutan MgO dalam magnetit sehingga fluiditas ikatan fasa dan kekuatan *sinter* juga akan meningkat.

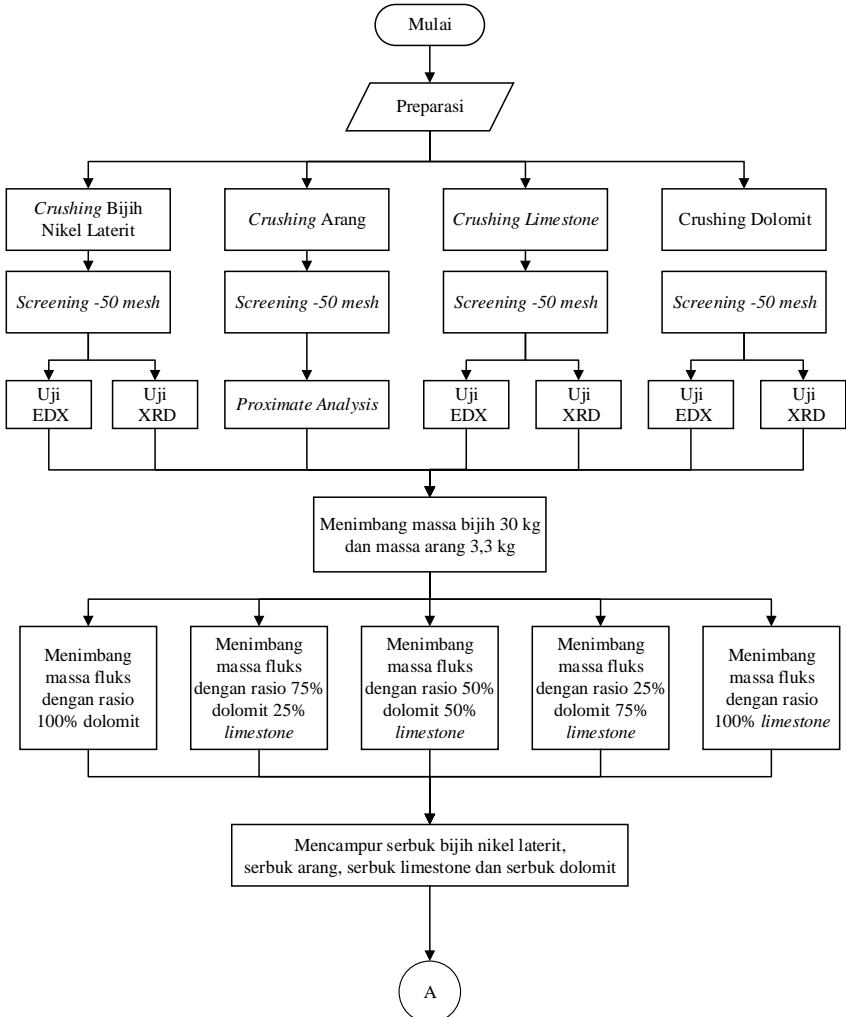
Di sisi lain, Guo pada Tahun 2014 meneliti tentang efek peningkatan basisitas terhadap jumlah kadar FeO yang dihasilkan. Fluks yang digunakan yakni *limestone*. Didapatkan kesimpulan bahwa kadar FeO akan meningkat seiring meningkatnya basisitas hingga mencapai angka 1,3 dan kemudian akan menurun apabila peningkatan melebihi angka tersebut. Kadar SFCA (*silico-ferrit calcium and aluminium*) akan muncul saat basisitas diatas basisitas

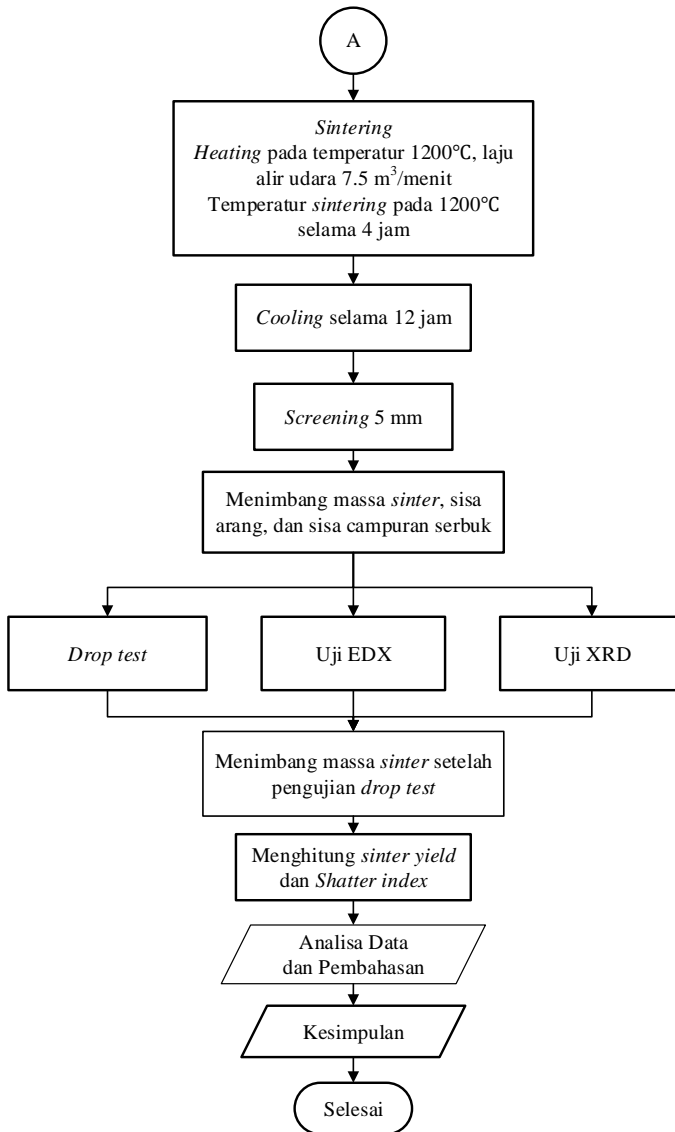
1,7. Namun kekuatan dari SFCA lebih buruk sehingga kekuatan *sinter* menjadi buruk.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi dalam penelitian ini adalah sesuai diagram alir pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

3.1.1 Bijih Nikel Laterit

Bijih nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel laterit limonit, yang berasal dari daerah Sulawesi Tenggara. Sebelum digunakan, bijih nikel dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh. Bijih nikel laterit yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bijih Nikel Laterit

3.1.2 Arang

Arang merupakan bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini. Jenis arang yang digunakan adalah arang kayu. Sebelum digunakan, arang dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh. Arang kayu yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Arang Kayu

3.1.3 *Limestone*

Limestone digunakan sebagai salah satu fluks dalam penelitian ini. *Limestone* yang digunakan berasal dari Sulawesi Tenggara. Sebelum digunakan, *limestone* dihancurkan terlebih dahulu dan diayak hingga ukuran 50 mesh. *Limestone* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4.

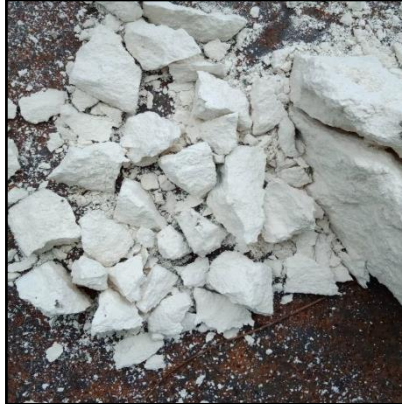


Gambar 3.4 *Limestone*

3.1.4 Dolomit

Dolomit digunakan sebagai salah satu fluks dalam penelitian ini. Sebelum digunakan, Dolomit dihancurkan terlebih

dahulu dan diayak hingga ukuran 50 mesh. Dolomit yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Dolomit

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

3.2.1 Sintering Bed Furnace

Sintering Bed Furnace merupakan alat utama yang digunakan dalam penelitian ini. Fungsi dari alat ini adalah sebagai tungku yang digunakan selama proses *sintering* nikel laterit menjadi *sinter ore*. *Sintering Bed Furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Sintering Bed Furnace*

Adapun dimensi *sintering bed furnace* yang digunakan adalah seperti pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Dimensi *Sintering Bed Furnace*

Dimensi	Ukuran
Panjang bagian luar	172 cm
Panjang bagian dalam	152 cm
Lebar bagian luar	122 cm
Lebar bagian dalam	102 cm
Tinggi bagian luar	92 cm
Tinggi bagian dalam	67 cm

3.2.2 Timbangan

Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis timbangan digital. Fungsi dari alat ini adalah untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan seperti dolomit,

limestone, arang, dan bijih nikel laterit. Timbangan digital yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Timbangan Digital

3.2.3 *Mesh*

Mesh digunakan untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini. Jenis ukuran ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh, ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Mesh*

3.2.4 *Thermometer Infrared*

Thermometer Infrared merupakan alat yang digunakan sebagai pengukur temperatur saat proses *sintering* bijih nikel laterit menjadi *sinter ore* sedang berlangsung. *Thermometer Infrared* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Thermometer Infrared*

3.2.5 *Blower*

Blower merupakan alat untuk menyuplai udara luar ke dalam *furnace*. *Blower* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Blower*

3.2.6 Anemometer

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur laju alir udara yang keluar dari *blower*. Anemometer yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Anemometer

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa prosedur pelaksanaan, antara lain:

3.3.1 Preparasi Material

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

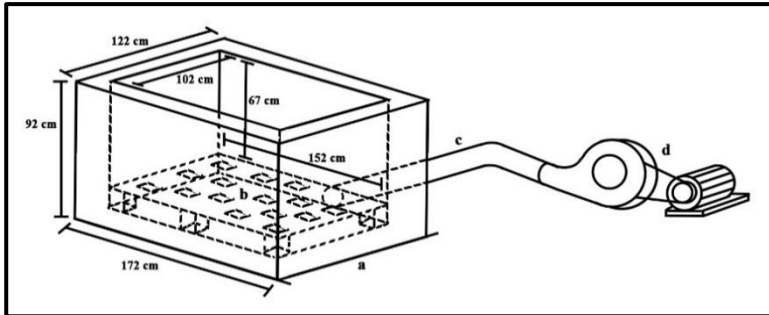
1. Menumbuk bijih nikel laterit, arang dan *limestone* kemudian mengayak hingga <50 mesh.
2. Melakukan pengujian EDX dan XRD pada bijih nikel laterit dan *limestone*.
3. Melakukan pengujian *Proximate Analysis* pada arang.
4. Menimbang bijih nikel laterit, arang, dolomit dan *limestone* sesuai variabel.

5. Mencampurkan bijih nikel laterit dengan arang, dolomit dan *limestone* yang telah ditimbang.

3.3.2 Proses *Sintering*

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses *sintering* bijih nikel laterit yaitu:

1. Memasang *blower* pada lubang alir udara menuju *furnace*. Susunan peralatan *sintering* dapat dilihat pada Gambar 3.12.
2. Mengguyurkan bensin pada arang kemudian memasukkan arang tersebut pada *sintering bed furnace*.
3. Memantikkan api pada arang di dalam *furnace* sembari menyalakan *blower* di sisi luar *furnace*.
4. Memanaskan *furnace* hingga mencapai temperatur 1200°C selama 1 jam sembari memasukkan campuran bijih nikel laterit, arang dan *limestone* ke dalam *furnace*. Melakukan *sintering* pada temperatur 1200°C selama 4 jam.
5. Sampel hasil *sintering* didinginkan dalam *furnace* selama 12 jam.
6. Setelah proses pendinginan selesai, sampel dikeluarkan dari *furnace* dan ditimbang massanya berdasarkan ukuran *sinter*.
7. Selanjutnya dilakukan proses pengujian EDX, XRD dan *Drop Test* pada sampel.



Gambar 3.12 Susunan Peralatan *Sintering* (a) *Furnace* (b) Kolom Udara (c) Pipa Udara (d) *Blower*

3.3.3 Pengujian Sampel

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Pengujian tersebut antara lain:

1. *Drop Test*



Gambar 3.13 Alat *Drop Test*

Drop test digunakan untuk mensimulasikan jatuhnya *sinter* dari suatu *conveyor* ke lainnya selama transportasi dari proses *sinter*

ke *blast furnace*. Sampel yang digunakan yaitu *sinter* yang memiliki ukuran 5 – 40 mm dengan berat total $20 \text{ kg} \pm 0.2 \text{ kg}$ yang sudah dikeringkan di oven pada temperature $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Hasil *sinter* yang sudah dikeringkan, lalu dimasukkan kedalam suatu kontainer dan diangkat dengan ketinggian 2 meter lalu dibiarkan jatuh bebas kebawah mengenai plat besi yang berada dibawahnya. Gambar 3.13 menunjukkan alat yang digunakan untuk pengujian *drop test*. Ukuran kontainer yang digunakan yaitu $560 \times 420 \times 200 \text{ mm}$ dan direkatkan pada suatu dudukan agar ketika sudah dijatuhkan kontainer lebih mudah untuk dinaikkan kembali. Plat besi yang digunakan sebagai alas memiliki ketebalan 10 mm atau lebih, lebar 1200 mm, panjang 1500 mm dan berada pada ketinggian 300 mm. Kontainer yang berisi *sinter* diangkat pada ketinggian 2 meter yang dihubungkan dengan suatu beban yang membuat kontainer bisa terangkat lalu, dijatuhkan bebas mengenai plat besi. Sampel *sinter* yang keluar dari container dimasukkan kembali dan diulangi sebanyak 3 kali lalu sampel diayak dengan ukuran 5 mm dan 10 mm. Hasil *sinter* yang tertahan di ayakan lalu ditimbang dan dihitung *shatter index* berdasarkan berat awal sebelum dilakukan *drop test*. Standar yang digunakan pada drop test yaitu IS : 3963 – 1981.

Dari hasil *Drop test* nantinya akan didapatkan *shatter index* dalam bentuk persentase. *Shatter index* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 dan 3.2.

$$\frac{SI}{(+10)} = \frac{W2}{W1} \times 100 \% \quad (3.1)$$

$$\frac{SI}{(+5)} = \frac{W3}{W1} \times 100\% \quad (3.2)$$

dimana,

SI = *Shatter Index* (%)

W1 = Massa awal sampel (kg)

W2 = Massa sampel yang tertahan ayakan 10 mm (kg)

W3 = Massa sampel yang tertahan ayakan 5 mm (kg)

Shatter Index menunjukkan ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya impact selama proses pengangkutan dan pengumpanan ke dalam blast furnace. Semakin tinggi *shatter index* maka semakin tinggi pula kekuatan *sinter* yang dihasilkan. Sesuai standar IS:9963 tahun 1981 tentang *Drop test*, nilai *shatter index* minimum yang dimiliki *sinter* berkualitas adalah lebih dari 60%.

2. Pengujian EDX

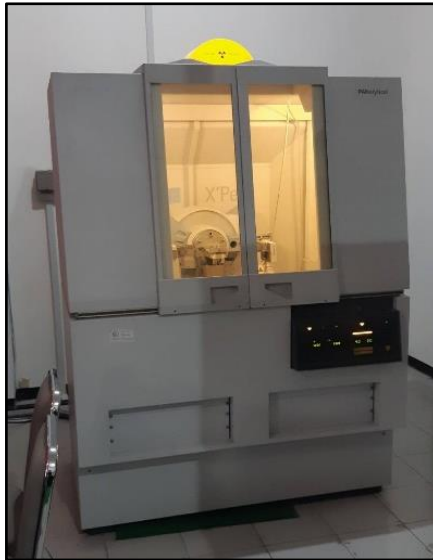
Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakteristik kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap-tiap *photon X-Ray* menunjukkan karakteristik masing-masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik energi (KeV) dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur-unsur yang terkandung di dalam suatu sampel beserta persentasenya. Alat yang digunakan untuk uji EDX ditunjukkan seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Alat Uji EDX

3. Pengujian XRD

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dari sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PAN *Analytical*. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10^{-3} - 10 nm, berfrekuensi 10^{17} - 10^{20} Hz dan memiliki energi 10^3 - 10^6 eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama. Alat yang digunakan untuk uji XRD PAN *Analytical* ditunjukkan seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Alat Uji XRD PAN Analytical

4. Proximate Analysis

Untuk mengetahui kandungan arang seperti kadar *moisture*, *volatile matter*, *ash*, dan *fixed carbon* dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (*Fixed Carbon*), ASTM D 3173-02 (*Moisture*), ASTM D 3174-02 (*Ash*), dan ASTM D 3175-02 (*Volatile matter*).

a. Moisture

Analisa kadar moisture dalam arang dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Bahan:

1. Udara kering
2. Pengerings, seperti kalsium sulfat anhidrat (0,004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0,0005 mg/L), dan asam sulfat (0,003 mg/L)

Alat: Oven Pengerings

Prosedur:

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang.
2. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
3. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan ($104^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.
4. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan *moisture* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.3 berikut ini:

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.3)$$

dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

b. Volatile Matter

Analisa kadar *volatile matter* dalam arang dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat:

1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara berkapasitas 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm dan tinggi 30 – 35 mm.
2. *Vertical electric tube furnace*.

Prosedur:

1. Menimbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam furnace, temperatur dijaga $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$.
2. Setelah *volatile matter* lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api *luminous*, periksa tutup krusibel masih tertutup.

3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar *furnace* dan didinginkan.
4. Timbang ketika dingin.
5. Persentase *weight loss* dikurangi persentase *moisture* sama dengan *volatile matter*.

Perhitungan *weight loss* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4 berikut ini:

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.4)$$

dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen *volatile matter* dihitung dengan Persamaan 3.5:

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D \quad (3.5)$$

dimana,

C = Weight Loss (%)

D = *Moisture* (%)

c. *Ash*

Analisa kadar *ash* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat:

1. Electric muffle furnace
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur:

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan temperatur 450 – 500°C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.

3. Pindahkan kapsul keluar dari furnace, didinginkan dan timbang.

Perhitungan *ash* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.6 berikut ini:

$$\text{Ash, \%} = [(A - B) / C] \times 100 \quad (3.6)$$

dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan *ash* (gram)

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gram)

d. *Fixed Carbon*

Analisa kadar *fixed carbon* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar *moisture*, *ash*, dan *volatile matter*.

Perhitungan *fixed carbon* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.7 berikut ini :

$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter}] \quad (3.7)$$

3.4 Neraca Massa *Sintering* Nikel Laterit

Proses *sintering* yang dilakukan memerlukan perhitungan massa bahan yang akan dikomposisikan (*feed material*). Perhitungan dilakukan berdasarkan persamaan reaksi yang terjadi pada proses *sintering* bijih nikel laterit. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses aglomerasi dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah bijih nikel laterit, arang, serta *limestone* dan dolomit sebagai fluks. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada temperatur 1200 °C.

Komposisi massa arang dihitung berdasarkan kebutuhan karbon sebagai agen reduktor untuk mereduksi Fe_2O_3 dan

dekomposisi CaCO_3 serta MgCO_3 pada temperatur tinggi. Sedangkan kebutuhan *limestone* ditentukan berdasarkan basisitas *sinter* yang diharapkan yakni sebesar 0,6. Desain target proses *sintering* ditentukan pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Target *Sintering* Nikel Laterit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
Reaksi Reduksi	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
Reaksi	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO}$	100	Persen (%)
Dekomposisi	$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO}$	100	Persen (%)
Basisitas	<i>Sinter</i>	60	Persen (%)

Berdasarkan target proses reduksi *sinter* tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dan neraca panas dengan ditentukan sebagai basis adalah bijih nikel laterit sebesar 100 kg sehingga diperoleh perbandingan komposisi *ore* : arang : fluks yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Pembagian variasi rasio massa fluks berdasarkan *trial and error*. Dimana rasio fluks yang digunakan pada variabel pertama.

3.5 Rancangan Penelitian

Berikut adalah rancangan penelitian yang dilakukan untuk proses *sintering* bijih nikel laterit sesuai dengan perhitungan stoikiometri yang dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Perbandingan Komposisi Ore : Arang : Fluks

Ore (kg)	Arang (kg)	Fluks (kg)
100	11	39

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

Komposisi <i>Feed Material</i>				Karakterisasi		
Bijih Nikel	Arang	Limestone	Dolomit	EDX	XRD	Drop Test
30 Kg	3,3 Kg	12 Kg	0 Kg	✓	✓	✓
		9 Kg	3 Kg	✓	✓	✓
		6 Kg	6 Kg	✓	✓	✓
		3 Kg	9 Kg	✓	✓	✓
		0 Kg	12 Kg	✓	✓	✓

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian karakterisasi terhadap bahan-bahan yang digunakan, yaitu bijih nikel laterit, arang, *limestone*, dan dolomit.

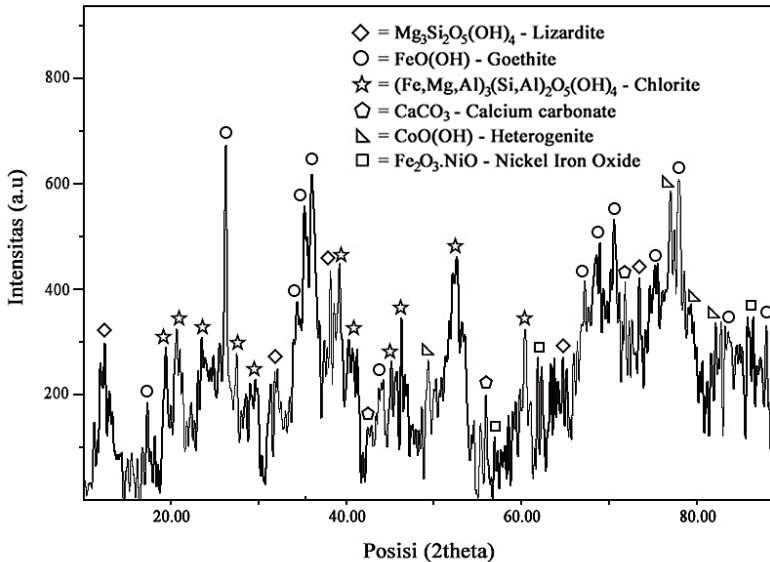
4.1.1 Karakterisasi Bijih Nikel Laterit

Bijih nikel laterit yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Sulawesi Tenggara. Bijih nikel laterit telah diayak dengan ukuran 50 mesh atau 300 μm . Pengujian komposisi / kadar bijih nikel laterit dilakukan terhadap bijih nikel laterit hasil sampling. Pengujian tersebut menggunakan mesin EDX. Didapatkan data komposisi bijih seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Ca	Mg	Si	Al	Cr	S	Cl	P	Co	O
%wt	1,59	42,01	3,36	5,91	17,78	2,5	1,29	0,27	0,2	0,18	0,02	25,89

Dari Tabel 4.1 didapatkan kadar Ni sebesar 1,59% dan Fe sebesar 42,01% yang kemudian dijadikan basis perhitungan neraca massa untuk proses *sintering* bijih nikel laterit. Identifikasi senyawa dari bijih nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD PAN Analytical. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1,54056 Å. Hasil pengujian XRD dari bijih nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit

Pengujian XRD menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di atas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui senyawa-senyawa yang terdapat pada bijih nikel laterit. Berdasarkan analisa *peak* didapatkan senyawa dominan pada bijih nikel laterit adalah *goethite* (FeOOH). Selain itu juga terdapat senyawa *lizardite* [$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], senyawa *chlorite* [$(\text{Fe},\text{Mg},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] dan *Nickel Iron Oxide* ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NiO}$)

4.1.2 Karakterisasi Arang

Arang yang digunakan berasal dari Kenjeran, Surabaya. Pada penelitian ini batu bara digunakan sebagai penyedia karbon untuk menghasilkan gas reduksi berupa gas CO. Gas CO yang berasal dari reaksi *Boudouard* yang akan mereduksi Fe_2O_3 menjadi FeO dan Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian

sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* arang yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Proximate Analysis* Arang

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
Kelembapan Total <i>(Moisture)</i>	0	%, ar	ASTM D3302-02
Kadar Abu <i>(Ash)</i>	1,7	%, ar	ASTM D3174-02
Kadar Karbon Tetap <i>(Fixed Carbon)</i>	61,8	%, adb	ASTM D3175-02
Kadar Zat yang mudah menguap <i>(Volatile Matter)</i>	36,5	%, adb	ASTM D3172-02
Nilai Kalori	7044	cal/gr, adb	ASTM D5865-03

Dari Tabel 4.2, didapatkan bahwa arang yang digunakan memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7044 kal/gr dan kadar karbon 61,8%. Hasil dari analisa proksimat diatas digunakan untuk perhitungan neraca panas yang digunakan untuk menghitung kebutuhan *sintering* bijih nikel laterit.

4.1.3 Karakterisasi *Limestone*

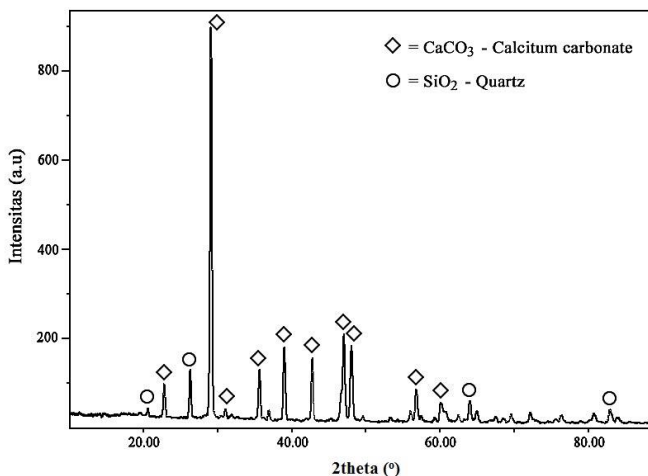
Identifikasi dari *limestone* dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat *SEM PAN Analytical* milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari *limestone* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian EDX *Limestone*

Unsur	Ca	Mg	C	Si	Al	O
% wt	43,01	0,57	11,02	6,51	2,43	33,93

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Ca yang tinggi yaitu 43,01% dan kandungan Mg yang rendah yaitu 0,57%. Dari kandungan Ca dan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *limestone* bukan dolomit. Dari segi proses aglomerasi, baik Ca yang membentuk senyawa CaCO_3 akan membantu penyediaan gas CO_2 pada proses reduksi Fe_2O_3 dan sebagai *flux agent* atau pengikat pengotor seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.15 dan 2.18. (Spencer, 1985)

Setelah itu, dilakukan identifikasi fasa dari *limestone* menggunakan mesin *XRD PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian XRD dari *limestone* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Pengujian XRD *Limestone*

Dari Gambar 4.2 di atas tampak bahwa pengujian XRD *limestone* memiliki *peak* tertinggi yaitu *Calcium carbonate* atau CaCO_3 .

4.1.4 Karakterisasi Dolomit

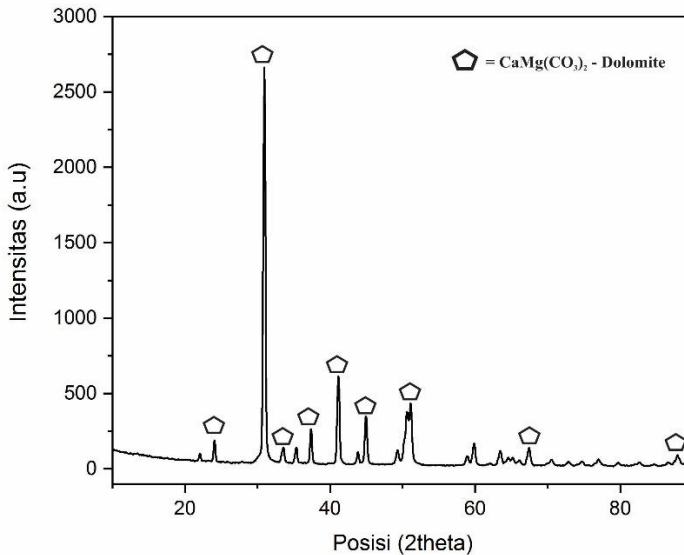
Identifikasi dari dolomit dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat *SEM PAN Analytical* milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari dolomit dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian EDX Dolomit

Unsur	Ca	Mg	C	Si	Al	O
% wt	41,37	12,97	4,02	0,50	0,47	40,65

Dari pengujian EDX di atas dapat dilihat bahwa dolomit kandungan Mg yang dihasilkan cukup tinggi yaitu 12,97% dengan kandungan Ca yang rendah dari *limestone* yaitu 41,37%. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan adalah dolomit.

Setelah itu, dilakukan identifikasi fasa dari dolomit menggunakan mesin *XRD PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian XRD dari *limestone* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

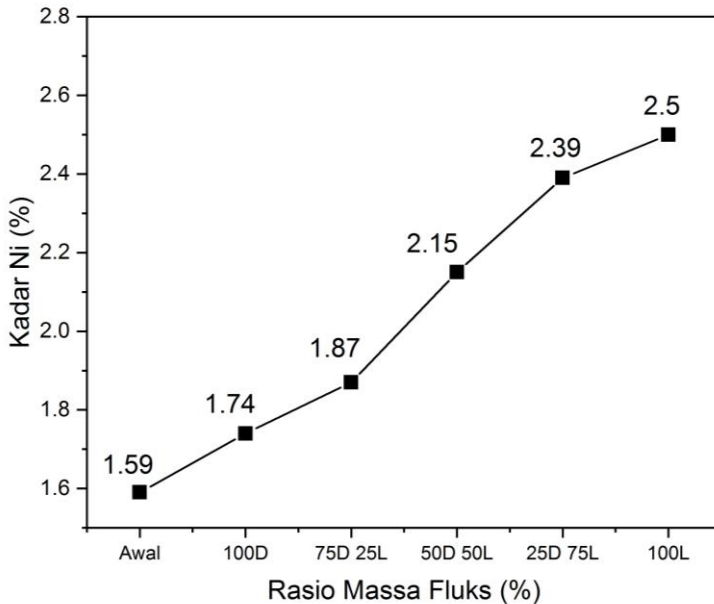


Gambar 4.3 Hasil Pengujian XRD Dolomit

Dari Gambar 4.4 di atas tampak bahwa pengujian XRD *limestone* memiliki *peak* tertinggi yaitu dolomit atau $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

4.2 Pengaruh Rasio Massa *Limestone* dan Dolomit Terhadap Kadar Ni Produk *Sinter*

Untuk mengetahui kadar Ni pada produk *sinter* dilakukan pengujian *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX. Rasio massa *limestone* dan dolomit pada proses *sintering* nikel laterit akan mempengaruhi kadar unsur nikel pada produk *sinter*. Pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit terhadap kadar Ni dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Pengaruh Rasio Massa Fluks terhadap Kadar Ni pada Produk *Sinter*

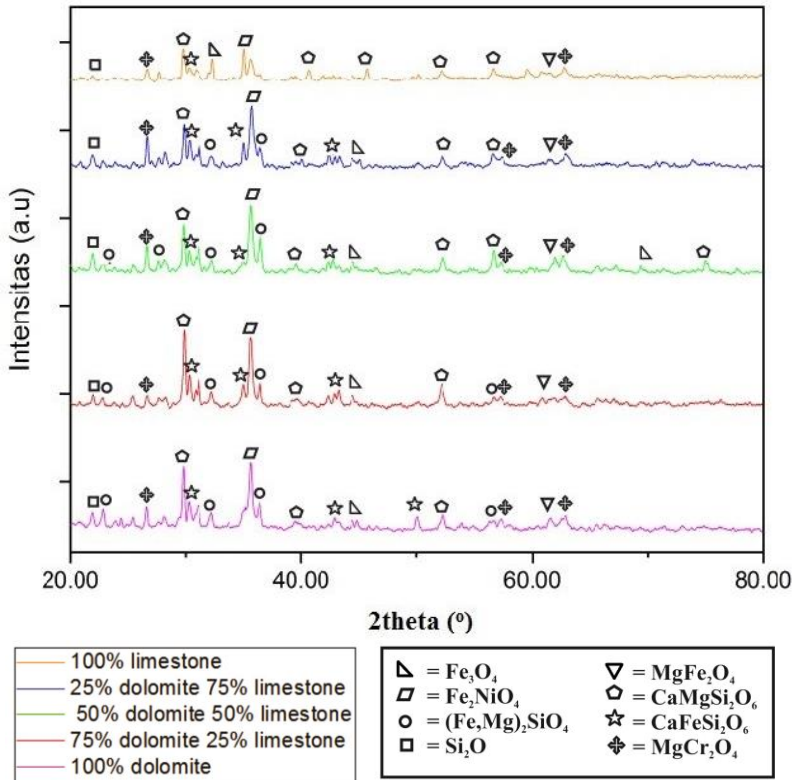
Gambar 4.4 di atas, dapat dilihat bahwa diperoleh kadar Ni bijih nikel laterit dengan penggunaan rasio 100% dolomit tanpa *limestone* setelah proses *sintering* pada temperatur 1200°C selama 4 jam adalah sebesar 1,74%. Hal ini menunjukkan peningkatan kadar nikel sebesar 0,15%. Berikutnya pada penggunaan rasio 75% dolomit dan 25% *limestone* diperoleh kadar Ni sebesar 1,87% dengan peningkatan sebesar 0,28 %. Pada rasio lain, kadar Ni pada penggunaan 50% dolomit dan 50% *limestone* sebesar 2,15% dengan peningkatan sebesar 0,56%. Pada variasi rasio berikutnya, penggunaan 25% dolomit dan 75% *limestone* sebesar 2,39% dengan peningkatan sebesar 0,7%. Kenaikan tertinggi terjadi pada penggunaan 100% *limestone* sebesar 2,5% dengan peningkatan sebesar 0,91%. Peningkatan ini disebabkan karena terjadinya dehidroksilasi pada *lizardite* [(Mg,Ni)₃Si₂O₅(OH)₄] pada temperatur 700°C sehingga senyawa tersebut akan melepas ikatan

hidroksidanya (OH). Selain itu juga terjadi pada reaksi *Boudouard* yang berperan dalam menghasilkan gas CO sebagai reduktor. Kadar Ni akan meningkat dikarenakan kandungan *moisture* dan *volatile matter* pada arang yang hilang berupa gugus OH pada reaksi dekomposisi *Goethite* menjadi *Hematite* yang terjadi pada temperatur 700°C (Tyroler & Landolt, 1998). Berkurangnya gugus O pada proses *sintering* menyebabkan kenaikan kadar Ni dikarenakan pembagi massa yang semakin kecil. Selain itu kalsium oksida (CaO) yang dihasilkan dari proses dekomposisi kalsit (CaCO₃) pada temperatur 550°C, mudah berikatan dengan oksida lain pada *feed material* (Cores, 2013). Sedangkan kadar magnesium oksida (MgO) yang tinggi pada dolomite menyebabkan Mg²⁺ mensubstitusi Fe²⁺ pada magnetit (Fe₃O₄) membentuk magnesio ferrit (MgFe₂O₄) dan sebagian yang lain akan berikatan dengan membentuk SFCA dan gelas (Yadav, 2002).

4.3 Pengaruh Rasio Massa *Limestone* dan Dolomit Terhadap Senyawa pada Produk *Sinter*

Identifikasi senyawa dari hasil *sintering* nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ dari 20° sampai 80° dan menggunakan panjang gelombang CuKα sebesar 1,54056 Å. Setelah *sintering* pada nikel laterit dengan variasi rasio massa fluks didapatkan produk *sinter* yang berupa metal yang kemudian diuji XRD.

Gambar 4.5 merupakan hasil identifikasi fasa setelah dilakukan proses *sintering* pada variasi rasio massa *limestone* dan dolomit tertentu. Terdapat lima variasi yang digunakan diantaranya penggunaan rasio 100% dolomit, penggunaan rasio 75% dolomit dan 25% *limestone*, penggunaan rasio 50% dolomit dan 50% *limestone*, penggunaan rasio 25% dolomit dan 75% *limestone*, penggunaan rasio 100% *limestone*. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD *Sinter*

Adapun senyawa-senyawa yang teridentifikasi dari hasil pengujian XRD pada hasil *sinter* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.5 Identifikasi Fasa pada Produk *Sinter*

No	Senyawa	Rumus Kimia
1	<i>Diopside</i>	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
2	<i>Hedenbergite</i>	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
3	<i>Olivine</i>	$(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$
4	<i>Nickel iron oxide</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NiO}$
5	<i>Magnesioferrite</i>	MgFe_2O_3
6	<i>Magnesiochromite</i>	MgCr_2O_4
7	<i>Magnetite</i>	Fe_3O_4
8	<i>Quartz</i>	SiO_2

Fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) merupakan fasa yang terbentuk dari pengikatan MgSiO_3 dengan CaCO_3 dan SiO_2 . Dekomposisi termal dari fasa *lizardite* [$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] dalam *ore* pada temperatur 600°C menghasilkan terbentuknya magnesium silikat (MgSiO_3) yang berikatan dengan CaCO_3 dan SiO_2 (Brindley, dkk, 1965). CaCO_3 diperoleh dari fluks yang digunakan baik *limestone* ataupun dolomit. Pada dolomit, CaCO_3 terbentuk dari dekomposisi termal dari fasa $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ yang terjadi antara temperatur 700°C hingga 750°C . Pada penggunaan fluks dolomit dengan rasio 100% tanpa pencampuran *limestone* terbentuk fasa-fasa pada *sinter*, didapatkan fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) yang ditunjukkan pada puncak $2\theta = 29,90$; $39,80$; dan $52,30$. Pada penggunaan fluks dolomit dengan rasio 75% dengan pencampuran 25% *limestone* didapatkan fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) pada puncak $2\theta = 29,96$; $39,50$; dan $52,30$. Berikutnya pada penggunaan fluks dolomit dengan rasio 50% dengan pencampuran 50% *limestone* didapatkan fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) pada puncak $2\theta = 29,96$; $39,50$; $52,30$; $56,57$ dan $77,50$. Sedangkan pada penggunaan fluks dolomit dengan rasio 25% dengan pencampuran 75% *limestone* didapatkan fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) pada puncak $2\theta = 29,96$;

39,50; 52,30, dan 57,03. Pada penggunaan fluks dolomit dengan rasio 100% tanpa pencampuran *limestone* didapatkan fasa *diopside* ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) lebih banyak pada puncak $2\theta = 29,96; 39,80; 44,42; 52,30$, dan $57,03$. Sementara ketika kandungan MgSiO_3 hasil dari dekomposisi termal dari *lizardite* telah habis bereaksi maka fasa CaCO_3 dan SiO_2 yang telah terbentuk sebelumnya akan bereaksi dengan *iron(II) silicate* (FeSiO_3) pada temperatur 1050°C menyebabkan terbentuknya fasa *hedenbergite* ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) (Mueller, 1997). Fasa ini muncul di semua variasi rasio pada puncak $2\theta = 30,20; 43,15$ dan $42,07$. Adapun *iron (II) silicate* (FeSiO_3) merupakan fasa yang terbentuk dari hasil reaksi *wustite* (FeO) dengan SiO_2 . Di dalam hasil proses *sintering* juga ditemukan fasa *olivine* [$(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$]. Fasa *olivine* yang terbentuk berasal dari *wustite* (FeO) yang berikatan dengan MgO dan SiO_2 pada temperatur 975°C . Fasa *olivine* ditunjukkan pada puncak 2θ $31,45; 36,00$; dan $57,40$. Selain itu juga teridentifikasi fasa *nickel iron oxide* ($\text{Fe}_2\text{O}_3,\text{NiO}$). Fasa ini terbentuk dari hasil ikatan fasa *hematite* (Fe_2O_3) yang belum sempat tereduksi menjadi *magnetite* maupun *wustite* dengan oksida-oksida yang lain seperti *nickel oxide* (NiO) pada temperatur 750°C . Fasa *nickel iron oxide* ($\text{Fe}_2\text{O}_3,\text{NiO}$) ditunjukkan pada puncak 2θ $35,30$. Fasa *magnesioferrite* (MgFe_2O_4) terbentuk dari ikatan antara MgO dan Fe_2O_3 pada temperatur 975°C . Fasa *magnesioferrite* (MgFe_2O_4) ditunjukkan pada puncak 2θ $63,15$. Sedangkan fasa *magnesiochromite* (MgCr_2O_4) terbentuk dari ikatan antara MgO dan Cr_2O_3 pada temperatur 1100°C . Fasa *magnesiochromite* (MgCr_2O_4) ditunjukkan pada puncak 2θ $57,50$ dan $62,85$. Fasa magnetit (Fe_3O_4) yang terbentuk dikarenakan reduksi dari besi hematit (Fe_2O_3) oleh gas CO yang berasal dari reaksi *Boudouard*. Fasa hematit yang mengalami reduksi tersebut terbentuk dari dekomposisi termal *goethite* (FeOOH) dalam bijih nikel laterit pada temperatur 700°C . Fasa *magnetite* (Fe_3O_4) ditunjukkan pada puncak 2θ $44,40$. Selain itu, dekomposisi termal dari fasa *lizardite* [$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] dalam *ore* juga membentuk fasa *quartz* (SiO_2) pada temperatur 700°C . Fasa *quartz* (SiO_2) ditunjukkan pada puncak 2θ $22,75$.

Pada temperatur yang lebih tinggi, SiO_2 tidak mengalami reduksi dan hanya berikatan dengan oksida lain karena reaksi reduksi SiO_2 oleh gas CO memiliki nilai energi bebas Gibbs yang positif dan cukup besar yakni 81300 kal, sehingga SiO_2 sulit direduksi oleh gas CO. (Yopy, 2014).

4.4 Pengaruh Rasio Massa *Limestone* dan Dolomit Terhadap Kekuatan *Sinter*

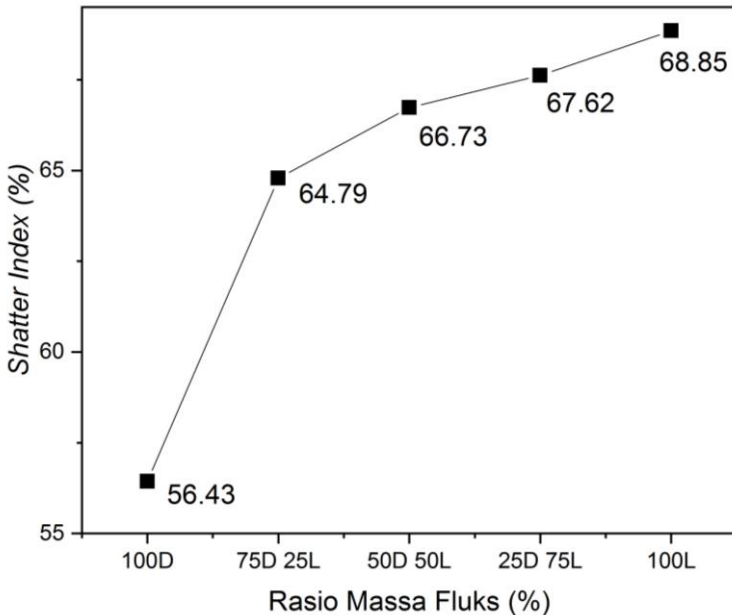
Untuk mengetahui kekuatan *sinter* dilakukan dengan membandingkan massa *sinter* yang berukuran ≥ 5 mm setelah dilakukan *drop test* dengan massa awal *sinter* sebelum dilakukan *drop test*. Sesuai standar IS-9963, perbandingan ini dinamakan *Shatter Index* dan menjadi acuan untuk mengukur ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya dampak selama proses pengumpanan ke dalam *blast furnace*. Perhitungan *Shatter Index* ditunjukkan pada Persamaan 2.7 (Bhavan, 1981).

Perhitungan pengaruh rasio massa *limestone* dan dolomit terhadap kekuatan *sinter* hasil proses *sintering* dapat dilihat Tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan *Shatter Index* Hasil Proses *Sintering*

Variasi rasio massa fluks (kg)	Massa <i>sinter</i> 5 mm setelah <i>drop test</i> (kg)	Massa awal <i>sinter</i> (kg)	<i>Shatter Index</i> (%)
100%D	1,84	3,27	56,43
75%D 25%L	3,01	4,63	64,79
50%D 50%L	4,45	6,68	66,73
25%D 75%L	4,01	5,93	67,62
100%L	4,97	7,22	68,85

Keterangan : D = Dolomit; L = *Limestone*



Gambar 4.6 Pengaruh Rasio Massa Fluks terhadap Kekuatan *Sinter*

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas, dapat dilihat nilai *shatter index sinter* yang diperoleh setelah proses *sintering* pada temperature 1200°C selama 4 jam pada tiap rasio massa fluks yang digunakan. Pada *sinter* dengan rasio 100% dolomit tanpa *limestone* diperoleh *shatter index sinter* sebesar 56,43% dengan massa awal sebesar 3,27 kg dan massa *sinter* yang berukuran 5 mm setelah dilakukan *drop test* adalah sebesar 1,84 kg. Sedangkan pada *sinter* dengan rasio pencampuran 75% dolomit 25% *limestone* diperoleh *shatter index sinter* sebesar 64,79% dengan massa awal sebesar 4,63 kg dan massa *sinter* yang berukuran 5 mm setelah dilakukan *drop test* adalah sebesar 3,01 kg. Untuk rasio 50% dolomit 50% *limestone* diperoleh *shatter index sinter* sebesar 66,73% dengan massa awal sebesar 6,68 kg dan massa *sinter* yang berukuran 5 mm setelah dilakukan *drop test* adalah sebesar 4,45 kg. Pada

pencampuran fluks dengan rasio 25% dolomit 75% *limestone* diperoleh *shatter index sinter* sebesar 67,62% dengan massa awal sebesar 5,93 kg dan massa *sinter* yang berukuran 5 mm setelah dilakukan *drop test* adalah sebesar 4,01 kg. Sedangkan pada *sinter* dengan rasio 100% *limestone* tanpa dolomit diperoleh *shatter index sinter* sebesar 68,85% dengan massa awal sebesar 7,22 kg dan massa *sinter* yang berukuran 5 mm setelah dilakukan *drop test* adalah sebesar 4,97 kg.

Nilai *shatter index* minimum yang dimiliki *sinter* berkualitas adalah 60%. Secara keseluruhan nilai *shatter index sinter* pada tiap rasio telah memenuhi standar *sinter* yang berkualitas dan persentase yang dihasilkan sudah cukup optimal. Hal ini menunjukkan ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya dampak selama proses pengangkutan dan pengumpanan ke dalam *blast furnace* sudah cukup baik (Gupta, 2015). Penggunaan dolomit pada jumlah yang tinggi menyebabkan penambahan MgO yang tinggi. Hal ini pada proses *sintering* dapat menyebabkan terjadinya ikatan yang tidak kuat. Kandungan MgO yang tinggi dapat menyebabkan terhambatnya reaksi pembentukan *calcium ferit* pada temperatur 1180 °C sehingga pembentukan SFCA tidak terjadi maksimal. Disamping itu dengan penambahan kandungan *magnesium* juga menyebabkan porositas meningkat. Sedikitnya porositas menyebabkan tingginya ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya dampak. Namun karena masih terdapatnya beberapa porositas menjadikan kekuatan *sinter* yang dihasilkan masih belum maksimal (Umadevi, 2012). Sementara penggunaan *limestone* akan menyebabkan peningkatan CaO akan menyebabkan peningkatan basisitas (CaO/SiO_2) yang akan berpengaruh pada penurunan *bonding temperature* pada proses *sintering* sehingga reaksi pembentukan SFCA semakin mudah terjadi. Senyawa SFCA memiliki kekuatan yang tinggi. Dengan meningkatnya jumlah SFCA yang terbentuk, maka kekuatan *sinter* juga semakin bertambah (Yang, 2017). Fluiditas dari ikatan yang terjadi pada *sinter* juga sangat menentukan ukuran dan jumlah kekosongan antara sub-unit *sinter* dimana hal tersebut berkaitan dengan kekuatan *sinter*. Ikatan fasa utama yang terjadi adalah

calcium ferrite atau SFCA sehingga viskositas SFCA menentukan fluiditas dari ikatan fasa yang terjadi. Penggunaan fluks dengan kadar MgO menyebabkan tingginya viskositas. Hal tersebut menyebabkan penurunan fluiditas dan kapasitas ikatan antar fasa pada penggunaan dolomit diakibatkan karena jumlah kandungan MgO yang tinggi (Zhang, 2013).

4.5 Pengaruh Rasio Massa *Limestone* dan Dolomit Terhadap Perolehan *Sinter*

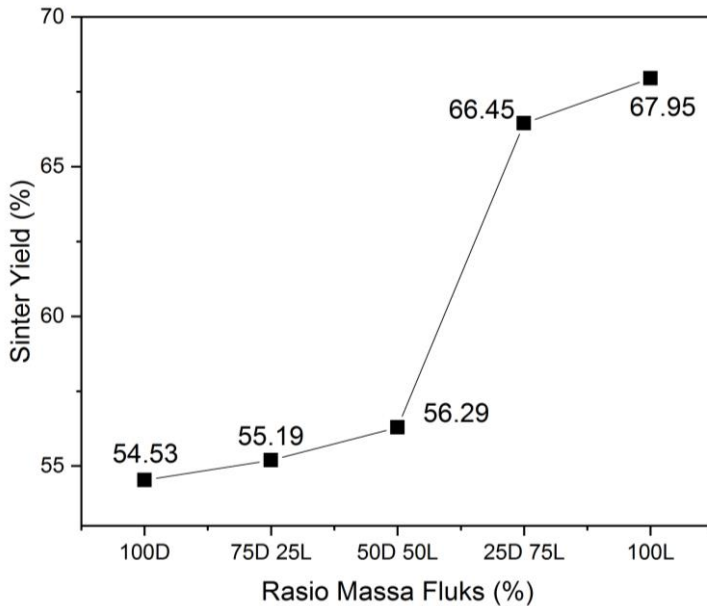
Untuk mengetahui perolehan *sinter* (% *yield*) dilakukan dengan membandingkan massa total *sinter* yang terbentuk setelah proses *sintering* dengan massa awal campuran *feed material*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.8 (Gupta, 2015).

Perhitungan pengaruh rasio massa fluks terhadap perolehan *sinter* hasil proses *sintering* dapat dilihat Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perhitungan *Sinter Yield* Hasil Proses *Sintering*

Rasio massa fluks (%)	Massa total <i>return fines</i> (kg)	Massa awal <i>feed material</i> (kg)	<i>Sinter yield</i> (%)
100D	20,60	45,3	54,53
75D 25L	20,32	45,3	55,19
50D 50L	19,80	45,3	56,29
25D 75L	15,23	45,3	66,45
100L	14,51	45,3	67,95

Keterangan : D = Dolomit; L = *Limestone*



Gambar 4.7 Pengaruh Rasio Massa Fluks Terhadap Perolehan *Sinter*

Berdasarkan Gambar 4.8 diatas dapat dilihat hasil perolehan *sinter* dari proses *sintering* yang dilakukan dengan rasio massa fluks masing-masing. Pada penggunaan fluks dolomit tanpa *limestone* diperoleh hasil *sinter yield* sebesar 54,53%. Saat kedua fluks dicampurkan dengan rasio massa 75% dolomit dan 25% *limestone* diperoleh hasil *sinter yield* sebesar 55,19%. Pada rasio lain dengan pencampuran 50% dolomit dan 50% *limestone* diperoleh hasil *sinter yield* sebesar 56,29%. Hasil perolehan *sinter yield* ini masih kecil sehingga dapat dikatakan perolehan *sinter* masih sangat minim yang memiliki nilai perolehan % *sinter yield* optimal sebesar $\geq 65\%$ (Gupta, 2015). Hasil ini disebabkan karena *slag bond* yang terjadi pada rasio ini sedikit. Pembentukan *slag bond* yang sedikit ini akan menurunkan massa *sinter* yang terbentuk dan secara tidak langsung akan menurunkan perolehan

sinter. (Crundwell, 2011). Kandungan MgO yang tinggi dapat menyebabkan terhambatnya reaksi pembentukan *calcium ferit* pada temperatur 1180 °C sehingga pembentukan SFCA tidak terjadi maksimal (Li Heng, 1993). Kandungan MgO akan mulai berikatan dengan SiO₂ pada temperature > 1350°C dan Fe₂O₃ pada temperatur > 1600°C. Hal ini mengakibatkan proses *sintering* yang terjadi tidak maksimal karena ikatan *bond* yang buruk antar partikel-partikel *sintering* sehingga meningkatkan *return fines* dan menurunkan perolehan *sinter*. (Yadav, dkk. 2002)

Untuk pencampuran fluks dengan rasio 25% dolomit 75% *limestone* diperoleh hasil *sinter yield* sebesar 66,45%, dan dari proses *sintering* yang dilakukan menggunakan jenis fluks *limestone* tanpa dolomit diperoleh hasil *sinter yield* sebesar 67,95%. Hasil ini telah memenuhi nilai perolehan *sinter yield* yang bagus karena nilai optimal sebesar $\geq 65\%$. (Gupta, 2015).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan rasio massa *limestone* dan dolomit mempengaruhi kadar Ni *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit. Peningkatan kadar Ni tertinggi didapatkan saat proses *sintering* dengan penggunaan rasio 100% *limestone* tanpa penambahan dolomit, kadar Ni akhir yang didapatkan adalah sebesar 2,5% dengan peningkatan kadar Ni sebesar 0,91%
2. Penggunaan rasio massa *limestone* dan dolomit mempengaruhi kekuatan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit. Kekuatan *sinter* tertinggi didapatkan saat proses *sintering* dengan penggunaan rasio 100% *limestone* tanpa penambahan dolomit, *shatter index* yang didapatkan adalah sebesar 68,85%.
3. Penggunaan rasio massa *limestone* dan dolomit mempengaruhi perolehan *sinter* pada proses *sintering* bijih nikel laterit. Perolehan *sinter* paling tinggi didapatkan saat proses *sintering* dengan penggunaan rasio 100% *limestone* tanpa penambahan dolomit yaitu sebesar 67,95%
4. Dilihat dari segi peningkatan kadar Ni, kekuatan *sinter* dan perolehan *sinter* yang tertinggi, maka penggunaan rasio massa *limestone* dan dolomit yang optimal adalah pada rasio 100% *limestone* tanpa dolomit.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya antara lain :

1. Melakukan penelitian *sintering* bijih nikel laterit dengan penggunaan rasio fluks dolomit dan *quicklime*, rasio fluks *limestone* dan *quicklime*, atau fluks jenis lainnya.
2. Melakukan penelitian *sintering* bijih nikel laterit dengan mempertimbangkan rasio massa fluks dan reduktor pada persentase tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardani, R.K, and R.N Pradana. 2014. "**Simulasi Fluidized Bed Dryer Berbasis CFD untuk Batubara Kualitas Rendah.**" Surabaya : ITS.
- Astuti, W, Z Zulhan, A Shofi, K Isnugroho, and F Nurjaman. 2012. "Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace ." **Prosiding InSINas 70.**
- Austin, G.T. 1984. **Shreve's Chemical Process Industry.** 5. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Bamford, C. H, and C. F. H Tipper. 2008. **Comprehensive Chemical Kinetics.** New York: Elsevier.
- Bhavan, Manak, and Bahadur Shah Zafar. 191. **Method of Determination of Shatter Index of Iron Ore Lumps, Sinter and Pellets.** New Delhi: Indian Standart Institution.
- Bristow, NJ. And Watres, AG. 1991. "**Roles of SFCA in Promoting High Temperature Reduction Properties of Iron Ore Sinters.**" Institute of Mining and Metallurgy.
- Bruzual, C.F. 2014. "Technological Ecological and Economic Assessment of The Coke Basedblast Furnace Operation with Charcoal Injection." **Conference Metal 2014 Proceedings.**
- Cores, A., Verdeja, L.F., Ferreira, S., Bustinza, I.R, dan Mochon, J. 2013. "Iron Ore Sintering: Theory and Practice of the Sintering Process". **DYNA** No. 180, pp. 152-171.
- Crundwell, F.K, M.S Moats, V Ramachandran, T.G Robinson, and W.G Davenport. 2011. **Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt, and Platinum-Group Metals.** Oxford: Elsevier
- Dalvi, Ashok D, W Gordon Bacon, and C Robert Osborne. 2004. "**The Past and the Future of Nickel Laterite.**" International Convention 1-7.
- Dawson, P.R. 1993. "**Research Study on Sintering and Sinter Quality.**" Ironmaking and Steel making 20: 137-143.
- Dawson, P.R., Ostwald, J., & Hayes, KM. 1984. "**The Influence of The Sintering Temperature Profile on The**

-
- Mineralogy and Properties of Iron Ore Sinters."** Institute of Mining and Metallurgy 163-169.
- Engler, P, M.W Santana, M.L Mittleman, and D Balazs. 1988. "In Situ XRD Analysis of Dolomite Decomposition." **The Rigaku Journal** 7-8.
- Ergun, S. 1952. "Fluid Flow through Packed Columns." **Journal of Chemical Engineering Progress** Vol. 48, No. 2. Pittsburgh: Carnegie Institute of Technology.
- Fan, X. H, G Min, J Tao, Y Li-shun, and C Xu-Ling. 2010. "**Influence of Flux Additives on Iron Ore Oxidized Pellets.**" *Natural Science* 733-737.
- Feng, G.L., 2011. Sintering characteristics of fluxes and their structure optimization. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials** , p. 270
- Gomez-Serrano, V, Fernandez-Gonzales M.C, Alexandre-Franco M.F, Rojas-Cervantes M.L, and A Macias-Garcia. 2003. "**Carbonization and Demineralization of Coals**" *Bulletin Material Science* 721-723.
- Guerrero, A.E, and M.F Collamates. 1970. "**Preparation of Actived Carbon from Coconut Cor Dust.**" Coconut Research and Developement.
- Guo, E., M. Liu, C. Pan, Q. Yuan, and Xuewei. 2014. "Sintering Process for Limonitic Nickel Laterite." **Proceedings of the Extraction and Processing Division Symposium on Pyrometallurgy** San Diego : TMS.: 623-630.
- Gupta, R.C. 2015. **Theory and Laboratory Experiments in Ferrous Metallurgy.** Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Johansyah, D. 2012. **Studi Pengaruh Proses Reduksi Pemanggangan dan Waktu Pelindian Amonium Bikarbonat Terhadap Perolehan Nikel Dari Bijih Limonit.** Depok : Universitas Indonesia.
- Jungah, K., Gjergj, D., Hideaki, T., Katsunori, O., Seiji, M., Toyohisa, F. 2010. "**Calcination of Low-grade Laterite for Concentration of Ni by Magnetic Separation.**" *Minerals Engineering* 23: 282–288.
-

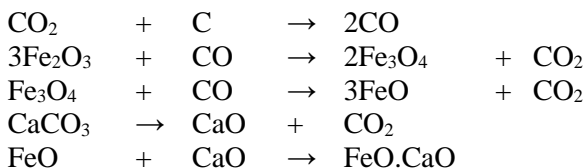
- Komarudin. 2008. **Studi Pengaruh Penambahan Karbon Pada Proses Reduksi Langsung Batu Besi.** Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Li, Shoubao. 1999. **Study of Nickeliferrous Laterite Reduction.** Hamilton: McMaster University.
- Loo, C. E. 1998. "Some Progress in Understanding The Science of Iron Ore Sintering." **ISTI Ironmaking Conference Proceedings.**
- Mabruri, Efendi, Shingo Sakurai, Murata Yoshinori, Toshiyuki Koyama, and Masahiko Morinaga. 2008. **"Diffusion and Gamma-phase Coarsening Kinetics in Ruthenium Containing Nickel Based Alloy."** Material Transactions 49: 792-799.
- Manocha, S. 2003. **"Porous Carbon."** Sadhana 335-348.
- Mayangsari, W., and A.B Prasetyo. 2016. Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Limonit Menggunakan Zat Aditif CaSO₄. **Metalurgi 1:** 1-16.
- Mueller, R.F., dan Saxena, S.K. 1977. **Chemical Petrology with Application to The Terrestrial Planets and Meteorites.** New York: Springer-Verlag New York Inc.
- Nyembwe, M. 2011. **Study of Sinter Reactions When Fine Iron Ore is Replaced with Coarse Ore, Using an Infrared Furnace and Sinter Pot Tests.** Pretoria: University of Pretoria.
- Oxley, Anne, and Nic Barcza. 2013. **"Hydro-pyro Integration in The Processing of Nickel Laterites."** Minerals Engineering.
- Pari, G, K Sofyan, Syafii, Buchari, and H Yamamoto. 2006. "Kajian Struktur Arang dari Lignin." **Jurnal Penelitian Hasil Hutan 9-20.**
- Prasetyo, Pughu. 2016. **"Sumber Daya Mineral di Indonesia Khususnya Bijih Nikel Laterit dan Masalah Pengolahannya Sehubungan dengan UU Minerba 2009."** P2MM LIPI.
- Rhamdhani, M Akbar, Peter Charles Hayes, and Evgueni Jak. 2009. "Nickel Laterite Part 1 - Microstructure and Phase

-
- Characterisations During Reduction Roasting and Leaching." **Mineral Processing and Extractive Metallurgy** 118: 129-145.
- Spencer, J. 1985. "Sulfidation of Half-Calcined Dolomite in Hydrogen-Sulfide/Deuterium/Water/Nitrogen." 2. Structure and Mechanisms.
- Surtamtomo, I, M Rifai, D Maniaryadi, I Setyaningsih, S Haryati, and Saifuddin. 1997. "Teknologi Adsorpsi Karbon Aktif untuk Mengolah Air Limbah Industri." Balitbang Industri.
- Susta, M.R. 2005. "Higher Calorific Values for Some Common Fuels a Coke, Oil, Wood, Hydrogen and Many More." Switzerland: IMTE AG.
- Umadevi, T., Karthik, P., Mahapatra, P.C., Prabhu, M., dan Ranjan, M. 2012. **Optimisation of FeO in Iron Ore Sinter at JSW Steel Limited.** Leeds: Maney Publishing.
- Wells, M.A., Fitzpatrick, and R.J Gilkes. 2006. **Thermal and Mineral Properties of Al-, Cr-, Mn-, Ni- and Ti Substituted Goethite.** Virginia: The Clay Minerals Society.
- Yadav, U.S., B.D. Pandey, B.K. Das, and D.N. Jena. 2002. "Influence of Magnesia on Sintering." *Ironmaking and Steelmaking* 29: 91.
- Yang, W., Yang, K. & Choi, S. 2005. Effect of Fuel Characteristics on the Thermal Process in an Iron Ore Sintering Bed. Korea: **JSME International Journal Series B.**
- Yildirim, H, H Morcali, A Turan, and O Yucel. 2013. "Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores." **Ferronickel Production and Operation** 237.
- Zhang, Guoliang, Shengli Wu, Shaoguo Chen, Jan Zhu, Jiaxin Fan, and Bo Su. 2013. "Optimization of Dolomite Usage in Iron Ore Sintering Process." *ISIJ International* 53: 1515-1522.
-

LAMPIRAN

A. Perhitungan Stokimetri Campuran *Sintering*

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi laterit terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi *boudouard*. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material:

- Bijih Nikel Laterit

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam bijih nikel laterit yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Cr	O
% Wt	1.59	42.01	17.78	5.91	2.36	2.5	1.29	25.89

- Arang

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 61,80%. Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah Fe_2O_3 dan NiO diketahui dengan cara sebagai berikut: Berat CaO dalam laterit:

$$\% \text{Wt CaO} = \frac{\text{Mr CaO}}{\text{Ar Ca}} \times \% \text{Wt Ca}$$

$$= \frac{56}{40} \times 2.36 \% = 3,31 \%$$

Berat MgO dalam laterit:

$$\begin{aligned} \% \text{Wt MgO} &= \frac{\text{Mr MgO}}{\text{Ar Mg}} \times \% \text{Wt Mg} \\ &= \frac{40,3}{24,3} \times 5,91\% = 9,80 \%$$

Berat SiO₂ dalam laterit:

$$\begin{aligned} \% \text{Wt SiO}_2 &= \frac{\text{Mr SiO}_2}{\text{Ar Si}} \times \% \text{Wt Si} \\ &= \frac{60}{28} \times 17,78\% = 38,1 \%$$

Berat Al₂O₃ dalam laterit:

$$\begin{aligned} \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr Al}_2\text{O}_3}{\text{Ar Al}} \times \% \text{Wt Al} \\ &= \frac{102}{54} \times 2,5\% = 4,72 \%$$

Berat Fe₂O₃ dalam laterit:

$$\begin{aligned} \% \text{Wt Fe}_2\text{O}_3 &= 100\% - \% \text{Wt Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Wt SiO}_2 - \\ &\quad \% \text{Wt CaO} - \% \text{Wt MgO} \\ &= 38,84\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase Fe₂O₃ dan NiO dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 100 kilogram *ore* maka diperoleh massa Fe₂O₃, CaO, MgO, SiO₂, dan Al₂O₃ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 &= 38,84 \text{ kilogram} \\ \text{CaO} &= 3,31 \text{ kilogram} \\ \text{MgO} &= 9,80 \text{ kilogram} \\ \text{SiO}_2 &= 38,1 \text{ kilogram} \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &= 4,72 \text{ kilogram} \end{aligned}$$

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{38,84}{160} \\ &= 0,243 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CaO} &= \frac{\text{massa CaO}}{\text{Mr CaO}} \\ &= \frac{3,31}{56} \\ &= 0,059 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{MgO} &= \frac{\text{massa MgO}}{\text{Mr MgO}} \\ &= \frac{9,80}{40,3} \\ &= 0,243 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SiO}_2 &= \frac{\text{massa SiO}_2}{\text{Mr SiO}_2} \\ &= \frac{38,1}{60} \\ &= 0,635 \text{ kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Al}_2\text{O}_3}{\text{Mr Al}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{4,72}{102} \\ &= 0,046 \text{ kmol}\end{aligned}$$

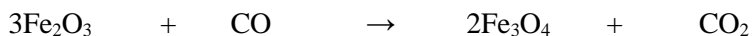
Dalam penelitian ini reduksi senyawa oksida dan reaksi dekomposisi pada laterit bertahap seperti berikut.



Dengan target reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100 \%$
reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} = 100 \%$

Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk membentuk bereaksi dengan CO₂ membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C arang.

Reaksi 1

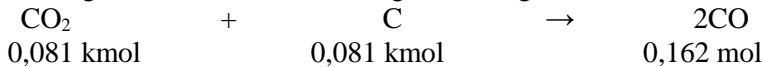


0,243 kmol 0,081 kmol 0,162 kmol 0,081 kmol

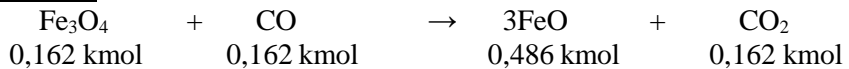
Reaksi *boudouard*



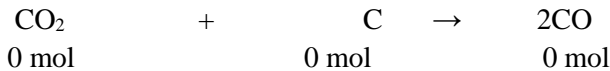
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C arang



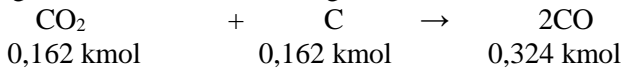
Reaksi 2



Reaksi *boudouard*



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 2 dengan C batu bara



Total mol C = 0,0405 + 0,081 + 0,162 = 0,284 kmol

Massa C yang dibutuhkan = total mol C x Ar C
= 0,283 kmol × 12.01115
= 3,3 kilogram

Massa arang yang dibutuhkan = 3,3 kilogram

Adapun hasil EDX *limestone* terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil EDX *limestone*

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Calcium	Ca	43.01
2.	Magnesium	Mg	0.57
3.	Silicon	Si	6.51
4.	Aluminium	Al	2.43
5.	Oksigen	O	33.93

B. Perhitungan Kebutuhan *Limestone*

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam *limestone* ditunjukkan pada tabel 2.

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam *limestone* adalah *Calcium Carbonate* (CaCO_3). Perhitungan kebutuhan fluks (*limestone*) mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran.

$$\text{Basisitas} = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$$

Menghitung basisitas *ore*

$$\text{Basisitas ore} = \frac{(3,31 + 9,80)}{(38,1 + 4,72)} = 0,306$$

Menghitung basisitas *sinter*

$$\text{Basisitas sinter} = \frac{[(3,31 + 9,80) + (43,52\% \times \text{massa limestone})]}{[(38,1 + 4,72) + (18,54\% \times \text{massa limestone})]}$$

$$0,6 = \frac{[13,11 + (43,52\% \times \text{massa limestone})]}{[42,82 + (18,54\% \times \text{massa limestone})]}$$

$$25,692 - 13,11 = 32,4\% \times \text{massa limestone}$$

$$\text{Massa limestone} = \frac{12,582}{32,4\%} = 39$$

$$\text{Massa suplit} = 39 \text{ kg pada setiap } 100 \text{ kg ore}$$

C. Perhitungan Neraca Energi

Untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar, dilakukan perhitungan neraca panas/energi terlebih dahulu. Sebelum melakukan perhitungannya neraca energi, perlu diketahui ΔH untuk setiap senyawa dan setiap reaksi pada proses *sintering*. Tabel 3 berikut adalah Cp senyawa untuk perhitungan ΔH :

Tabel 3. Cp Senyawa dalam Bijih Nikel Laterit dan *limestone*

	T ¹	T ²	T ³	T ⁴	T ¹
Fe ₂ O ₃	110.9362	16.02357	-3.064111	0.2253765	5.433677
FeO	45.7512	9.392765	-1.984067	0.21319475	-0.081265
CaO	49.95403	2.443958	-0.117352	0.01154675	-0.825097
MgO	47.25995	2.8408105	-0.290888333	0.026075	-1.053955
SiO ₂	58.7534	5.139625	-0.043794667	0.0063025	0.025601
Al ₂ O ₃	102.429	19.3749	-5.303633333	0.65704525	-3.007551
Cr ₂ O ₃	124.655	-0.1685225	1.90167	-0.2633675	-2.030501
CoO	43.65	11.191865	-5.631286667	1.63904025	0.532263
P ₂ O ₅	-	-0.000129267	-1.11469598	-	0.37723652
SO ₃	81.99008	0.311118	-0.040813333	0.0020735	-6.703688
Cl	42.6773	-2.504785	0.634873667	-	-2.09848
CaCO ₃	0.04975	-1287000	-	-	-
MgCO ₃	44.937	74.85425	-37.09137	2.994175	-0.629261
SiO ₂	58.7534	5.139625	-0.043794667	0.0063025	0.025601
K ₂ O	72.55098	20.695485	-0.242832333	0.054641	0.066026

Berikut adalah contoh perhitungan ΔH dengan T₁ = 298 K dan T₂ = 1350 K menggunakan Cp pada Tabel

$$\Delta H = \int_{298\text{ K}}^{1350\text{ K}} C_p dT$$

$$\Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \int_{298\text{ K}}^{1350\text{ K}} 110,9362T^1 + 16,02357T^2 - 3,064111T^3 + 0,2253765T^4 + 5,433677T^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 73,092 \text{ KJ/mol}$$

Untuk setiap mol Fe_2O_3 didapatkan ΔH sebesar 73,092 KJ/mol dan pada bijih terdapat mol Fe_2O_3 sebesar 242.758 mol. Maka didapatkan entalpi sebesar 17.743,560 KJ. Untuk semua entalpi pada bijih nikel laterit dan *limestone* terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Entalpi Senyawa Dalam Bijih Nikel Laterit

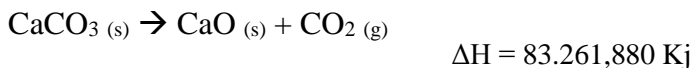
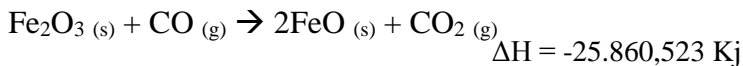
Senyawa	Entalpi (kJ)
Fe ₂ O ₃	17.743,559
FeO	28.358,991
NiO	8601,682
CaO	3212,387
MgO	12.461,862
SiO ₂	44.517,230
Al ₂ O ₃	5681,072
Cr ₂ O ₃	1611,011
CoO	19,793
P ₂ O ₅	690,667
SO ₃	618,601
Cl	214,607

Adapun entalpi senyawa pada *limestone* terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Entalpi Senyawa Dalam *Limestone*

Senyawa	Entalpi (kJ)
CaCO ₃	41.436,931
CaO	83.261,879
CaO	10.701,945
MgCO ₃	90,670
MgO	32.364,916
MgO	12.232,925
Al ₂ O ₃	2156,535
SiO ₂	6353,595
K ₂ O	370,282
Fe ₂ O ₃	978,300

Selain dari senyawa, terdapat juga entalpi dari reaksi yang terjadi pada proses *sintering*. Entalpi dari reaksi tersebut adalah:



Total dari semua entalpi dari proses *sintering* tersebut di konversikan menjadi kkal dengan $1 \text{ KJ} = 0,239006 \text{ kkal}$. Hasil dari penjumlahannya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Total Kebutuhan Energi

No	Item	Energi yang dibutuhkan (kkal/100kg ore)
1	Panas untuk pemanasan bijih nikel	23.489,027
2	Panas untuk dekomposisi dan pemanasan <i>limestone</i>	45.587,516
Total		69.076,543

Dengan panas pembakaran karbon pada batu bara sebesar 7204 kkal/kg maka jumlah batu bara yang dibutuhkan dalam proses *sintering* sebesar $= \frac{69075,543 \text{ kkal}}{7204 \text{ kkal/kg}} = 9,8 \text{ kg}$

D. Perhitungan Laju Alir Udara

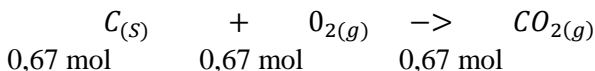
Dari kebutuhan arang yang dibutuhkan, dapat diketahui kebutuhan oksigen, kebutuhan udara serta laju alir udara.

Massa arang : $9,8 + 3,3 = 13 \text{ Kg}$

%C pada arang : 61,8 %

Mol C dapat dihitung :

$$\frac{\%C \text{ pada arang} \times \text{Massa arang}}{\text{Ar C}} = \frac{61,8\% \times 13}{12} = 0,67 \text{ mol}$$



Massa O_2 : Mol O_2 X Ar $O_2 = 0,67 \times 32 = 21,44 \text{ kg}$

$$\text{Volume } O_2 = \frac{\text{Massa } O_2}{\text{Densitas } O_2} = \frac{21,44 \text{ kg}}{1,429 \text{ kg/m}^3} = 15 \text{ m}^3$$

Volume udara dapat diketahui dari volume O_2 :

$$\text{Volume udara} : \frac{100}{21} \times \text{volume } O_2 = \frac{100}{21} \times 15 = 71,4 \text{ m}^3$$

Waktu *sintering* 4 jam dengan volume udara 71,4 m³

Waktu *sintering* 1 jam dengan laju alir udara per jam = $71,4 \div 4 = 17,85 \text{ m}^3/\text{jam}$

Untuk waktu *sintering* per-menit, maka laju alir udara = $\frac{17,85}{60} = 0.3 \text{ m}^3/\text{menit}$

E. Perhitungan Kekuatan *Sinter*

Untuk mengetahui kekuatan *sinter* dilakukan dengan membandingkan massa *sinter* yang berukuran ≥ 5 mm setelah dilakukan drop test dengan massa awal *sinter* sebelum dilakukan drop test. Sesuai standar IS-9963, perbandingan ini dinamakan Shatter Index dan menjadi acuan untuk mengukur menunjukkan ketahanan *sinter* untuk tidak pecah dengan adanya dampak selama proses pengangkutan dan pengumpanan ke dalam *blast furnace*. Hasil perhitungan terdapat pada Tabel 7.

$$\text{Shatter Index (SI)} = \frac{m_{\text{sinter 5 mm setelah drop test}}}{m_{\text{awal sinter}}} \times 100\%$$

Tabel 7. Data Hasil *Drop Test*

Variasi rasio massa fluks (kg)	Massa <i>sinter</i> 5 mm setelah <i>drop test</i> (kg)	Massa awal <i>sinter</i> (kg)
100% D	1,84	2,77
75% D 25% L	3,01	4,63
50 % D 50% L	4,45	6,68
25 % D 75% L	4,01	5,93
100 % L	4,97	7,22

$$\begin{aligned} &\text{Shatter Index Sinter 1 (100% Dolomit)} \\ &= \frac{1,84 \text{ kg}}{2,77 \text{ kg}} \times 100\% = \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Shatter Index Sinter 2 (75\% Dolomit 25\% Limestone)} \\ & = \frac{3,01 \text{ kg}}{4,63 \text{ kg}} \times 100\% = 64,79\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Shatter Index Sinter 3 (50\% Dolomit 50\% Limestone)} \\ & = \frac{4,45 \text{ kg}}{6,68 \text{ kg}} \times 100\% = 66,73\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Shatter Index Sinter 4 (25\% Dolomit 75\% Limestone)} \\ & = \frac{4,01 \text{ kg}}{5,93 \text{ kg}} \times 100\% = 67,62\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Shatter Index Sinter 5 (100\% Limestone)} \\ & = \frac{4,97 \text{ kg}}{7,22 \text{ kg}} \times 100\% = 68,85\% \end{aligned}$$

F. Perhitungan Perolehan Sinter

Untuk mengetahui perolehan *sinter* (% *yield*) dilakukan dengan membandingkan massa total *sinter* yang terbentuk setelah proses *sintering* dengan massa awal campuran feed material (dalam hal ini *ore*, *limestone* dan arang).

$$\% \text{ Yield} = 100\% - \frac{m_{\text{total return fines}}}{m_{\text{awal feed material}}}$$

Hasil perhitungan perolehan *sinter* yang telah dilakukan terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan *Sinter Yield*

Rasio massa fluks (%)	Massa total <i>return fines</i> (kg)	Massa awal <i>feed material</i> (kg)	<i>Sinter yield</i> (%)
100D	20,60	45,3	54,53
75D 25L	20,32	45,3	55,19
50D 50L	19,80	45,3	56,29
25D 75L	15,23	45,3	66,45
100L	14,51	45,3	67,95

$$\begin{aligned} & \%Yield \text{ Sinter 1 (100\% Dolomit)} \\ & = 100\% - \frac{20,60 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 54,53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \%Yield \text{ Sinter 2 (75\% Dolomit 25\% Limestone)} \\ & = 100\% - \frac{20,32 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 55,19\% \end{aligned}$$

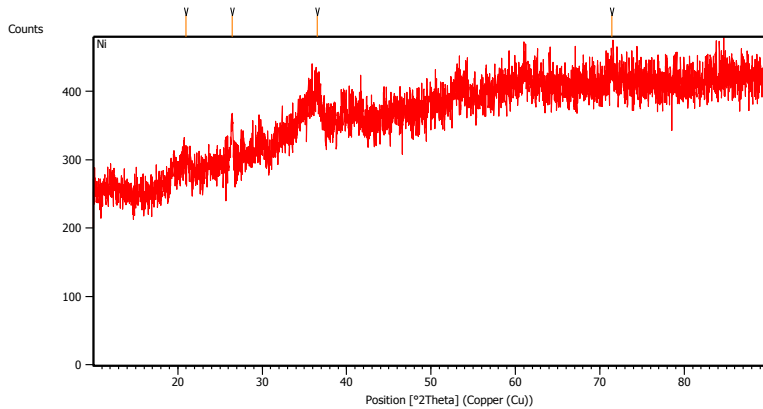
$$\begin{aligned} & \%Yield \text{ Sinter 3 (50\% Dolomit 50\% Limestone)} \\ & = 100\% - \frac{19,80 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 56,29\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \%Yield \text{ Sinter 4 (25\% Dolomit 75\% Limestone)} \\ & = 100\% - \frac{15,23 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 66,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \%Yield \text{ Sinter 5 (100\% Limestone)} \\ & = 100\% - \frac{14,51 \text{ kg}}{45,3 \text{ kg}} = 67,95\% \end{aligned}$$

G. Hasil Pengujian XRD

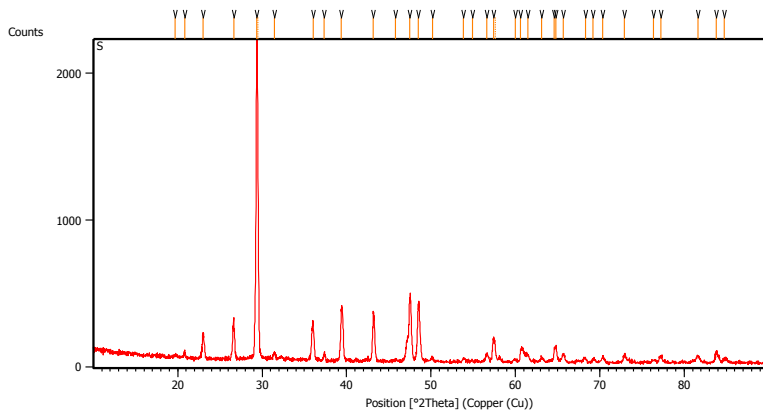
Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit :



Peak List:

Pos.	Height	FWHM	Left	d-spacing	Rel. Int.
20.9708	17.76	0.8029		4.23626	26.57
26.4654	66.86	0.2007		3.36792	100.00
36.5053	40.87	0.5353		2.46143	61.12
71.4102	24.44	0.8029		1.32097	36.56

Hasil Pengujian XRD *Limestone*

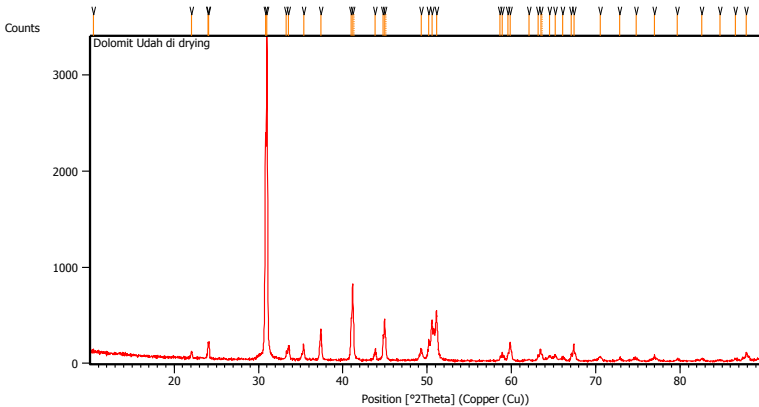


Peak List:

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	Left	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
19.6728	12.31	0.4015		4.51275	0.57
20.8132	43.59	0.1338		4.26799	2.00
22.9960	169.34	0.2342		3.86758	7.78
26.6190	282.22	0.0502		3.34883	12.97
29.3857	2175.91	0.1836		3.03701	100.00
29.4846	1673.62	0.1020		3.03457	76.92
31.4693	43.40	0.2856		2.84052	1.99
36.0335	266.20	0.1020		2.49050	12.23
37.3421	48.30	0.2448		2.40618	2.22
39.3875	336.10	0.1632		2.28580	15.45
43.1737	323.52	0.0816		2.09371	14.87
45.8187	12.86	0.6528		1.97881	0.59
47.5143	422.21	0.3264		1.91207	19.40
48.4774	343.25	0.1020		1.87631	15.77
50.1594	27.07	0.3264		1.81726	1.24
53.8710	24.35	0.3264		1.70049	1.12
54.9119	13.42	0.2856		1.67069	0.62
56.6271	56.81	0.2856		1.62409	2.61
57.3999	152.12	0.2856		1.60405	6.99
57.5985	130.36	0.1224		1.60296	5.99
59.9687	19.65	0.4080		1.54133	0.90
60.6287	81.00	0.2448		1.52612	3.72
61.4519	52.23	0.3264		1.50763	2.40
63.1306	34.70	0.4080		1.47152	1.59
64.6183	87.65	0.1224		1.44119	4.03
64.8159	115.33	0.1632		1.43728	5.30
65.6860	57.46	0.4080		1.42033	2.64
68.2894	29.38	0.4080		1.37239	1.35
69.2038	20.41	0.4080		1.35647	0.94
70.3600	41.17	0.3264		1.33698	1.89
72.9396	48.99	0.4080		1.29593	2.25
76.3900	15.51	0.3264		1.24575	0.71
77.2561	36.28	0.4080		1.23394	1.67

81.6142	45.30	0.4080	1.17870	2.08
83.7867	73.27	0.2040	1.15358	3.37
84.7232	24.48	0.4896	1.14320	1.12

Hasil Pengujian XRD Dolomit

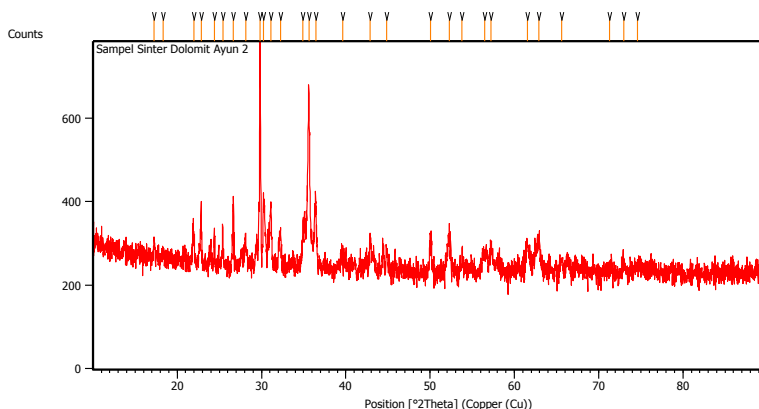


Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.4219	17.41	0.8029	8.48835	0.51
22.0810	59.56	0.1673	4.02572	1.75
24.0029	154.88	0.0816	3.70449	4.56
24.1088	174.13	0.0836	3.69152	5.13
30.8149	2329.07	0.0669	2.90173	68.62
30.9999	3394.28	0.0836	2.88484	100.00
33.3052	88.66	0.0502	2.69024	2.61
33.5819	123.61	0.1673	2.66871	3.64
35.3564	151.30	0.0836	2.53873	4.46
37.4123	310.55	0.0836	2.40381	9.15
40.9851	400.60	0.1020	2.20032	11.80
41.1690	794.89	0.1224	2.19091	23.42
41.3148	339.16	0.0612	2.18894	9.99
43.8618	109.99	0.0612	2.06245	3.24
44.7907	242.37	0.0816	2.02181	7.14

44.9665	433.08	0.1020	2.01431	12.76
45.1103	225.40	0.0612	2.01321	6.64
49.2808	107.92	0.2856	1.84759	3.18
50.1926	175.88	0.0816	1.81614	5.18
50.5760	402.42	0.1224	1.80327	11.86
51.1114	517.16	0.1020	1.78563	15.24
58.6756	45.54	0.1224	1.57217	1.34
58.8871	82.19	0.1428	1.56703	2.42
59.5903	80.86	0.1224	1.55021	2.38
59.8566	187.96	0.1224	1.54395	5.54
62.0772	15.82	0.2448	1.49394	0.47
63.1549	61.58	0.1224	1.47102	1.81
63.4907	119.28	0.1428	1.46404	3.51
63.6774	61.06	0.1224	1.46383	1.80
64.5447	49.80	0.3264	1.44266	1.47
65.1831	53.51	0.2448	1.43006	1.58
66.0900	49.42	0.1224	1.41262	1.46
67.1251	68.75	0.1632	1.39333	2.03
67.4203	174.99	0.1224	1.38795	5.16
70.5220	43.53	0.4080	1.33431	1.28
72.8530	28.58	0.2448	1.29726	0.84
74.7983	24.31	0.4896	1.26827	0.72
76.9923	60.78	0.1632	1.23750	1.79
79.6735	24.45	0.3264	1.20246	0.72
82.6123	25.64	0.4080	1.16697	0.76
84.7654	8.13	0.6528	1.14274	0.24
86.5743	22.69	0.2448	1.12345	0.67
87.8924	68.94	0.2040	1.10997	2.03

Hasil Pengujian XRD *Sinter 1* (100% Dolomit)

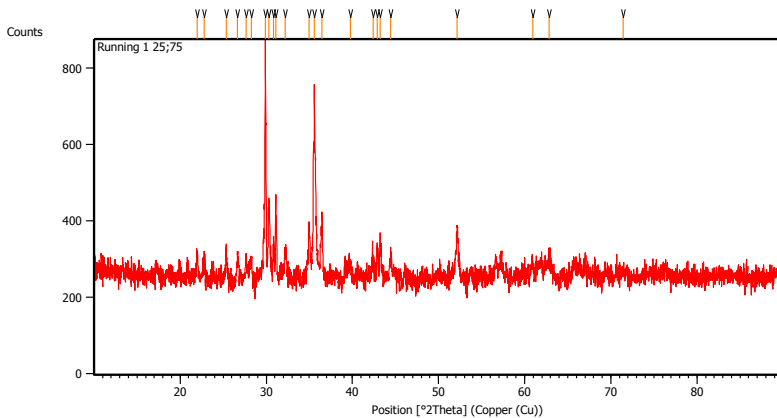


Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.2546	38.24	0.2007	5.13935	7.72
18.3115	21.68	0.2342	4.84503	4.38
21.9736	70.11	0.2007	4.04516	14.16
22.8449	152.30	0.0669	3.89281	30.75
24.4183	64.96	0.1004	3.64542	13.12
25.4101	90.73	0.0502	3.50534	18.32
26.6709	164.92	0.0836	3.34243	33.30
28.1068	65.15	0.2007	3.17485	13.16
29.8178	495.26	0.0836	2.99646	100.00
30.2400	157.19	0.2007	2.95558	31.74
31.0941	142.90	0.1338	2.87631	28.85
32.2414	92.30	0.1338	2.77653	18.64
34.9248	111.14	0.0836	2.56911	22.44
35.6281	417.42	0.0669	2.51999	84.28
36.4315	164.00	0.2342	2.46624	33.11
39.6497	32.61	0.5353	2.27317	6.58
42.8787	57.32	0.2007	2.10918	11.57
44.8553	53.62	0.2007	2.02072	10.83
50.0587	64.46	0.2007	1.82219	13.02

52.2836	91.37	0.2676	1.74977	18.45
53.7663	30.65	0.4015	1.70496	6.19
56.4808	40.57	0.5353	1.62930	8.19
57.2439	62.74	0.3346	1.60938	12.67
61.5436	58.21	0.3346	1.50685	11.75
62.9053	75.50	0.2007	1.47748	15.24
65.6152	25.76	0.3346	1.42287	5.20
71.2721	19.24	0.8029	1.32319	3.88
72.9945	22.33	0.4015	1.29616	4.51
74.5987	9.94	0.8029	1.27222	2.01

Hasil Pengujian XRD *Sinter 2 (75% Dolomit 25% Limestone)*

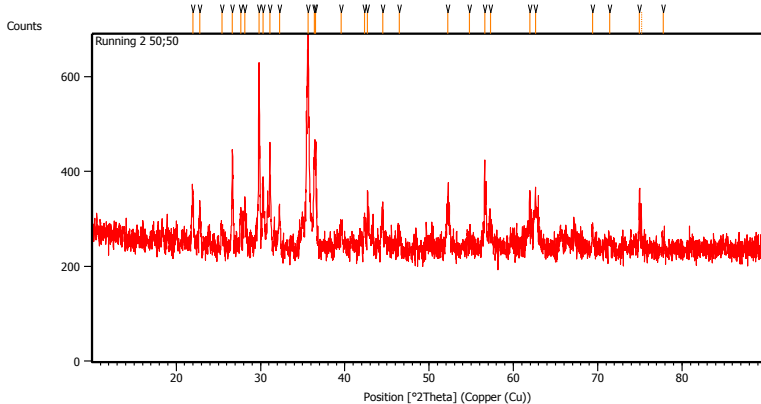


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.9745	55.98	0.1673	4.04500	8.65
22.7645	48.07	0.2007	3.90638	7.43
25.3876	67.30	0.2676	3.50839	10.40
26.6629	77.66	0.1673	3.34341	12.00
27.6713	54.36	0.2007	3.22382	8.40
28.2782	42.09	0.2342	3.15599	6.50

29.8860	647.21	0.0669	2.98977	100.00
30.2832	194.69	0.1171	2.95146	30.08
30.8229	105.21	0.1338	2.90100	16.26
31.1029	226.47	0.0502	2.87552	34.99
32.1784	81.13	0.2007	2.78183	12.54
34.9853	133.04	0.1338	2.56480	20.56
35.5953	510.96	0.0502	2.52223	78.95
36.4598	162.93	0.1338	2.46439	25.17
39.7434	36.88	0.8029	2.26803	5.70
42.3797	57.03	0.2007	2.13285	8.81
42.8842	73.28	0.1673	2.10892	11.32
43.2342	106.40	0.1673	2.09265	16.44
44.4089	56.41	0.3011	2.03999	8.72
52.1497	132.11	0.1338	1.75394	20.41
60.9169	42.12	0.3346	1.52084	6.51
62.8471	53.27	0.5353	1.47870	8.23
71.3970	15.69	0.8029	1.32118	2.42

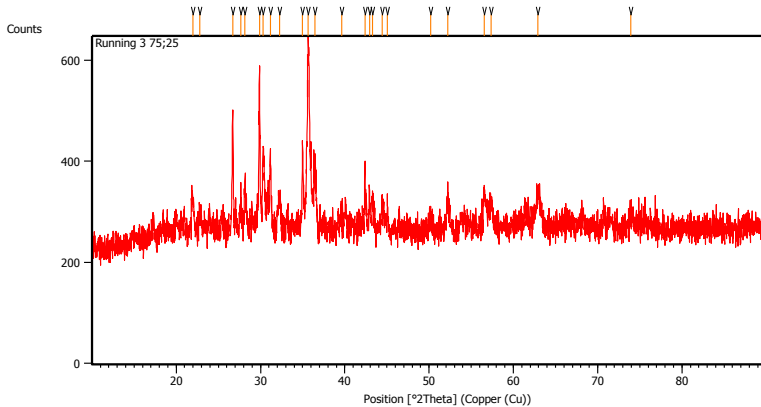
Hasil Pengujian XRD *Sinter 3* (50% Dolomit 50% *Limestone*)



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.9734	115.96	0.1338	4.04519	28.03
22.7652	65.08	0.2342	3.90625	15.73
25.4185	34.97	0.3346	3.50420	8.45
26.6548	209.21	0.0669	3.34441	50.58
27.6459	72.14	0.1673	3.22672	17.44
28.1075	77.59	0.2676	3.17478	18.76
29.8133	312.63	0.1338	2.99690	75.58
30.3117	147.87	0.1506	2.94874	35.75
31.1027	222.63	0.0669	2.87553	53.82
32.2430	86.12	0.2007	2.77640	20.82
35.6761	413.65	0.0502	2.51671	100.00
36.3604	187.25	0.2040	2.46885	45.27
36.5323	182.18	0.1338	2.45967	44.04
39.5890	44.88	0.2007	2.27652	10.85
42.3641	61.93	0.1338	2.13359	14.97
42.7045	129.55	0.0612	2.11562	31.32
44.5183	69.69	0.1673	2.03523	16.85
46.4916	29.69	0.4015	1.95334	7.18
52.2425	95.48	0.3346	1.75104	23.08
54.7948	15.87	0.8029	1.67537	3.84
56.6020	190.92	0.0612	1.62475	46.15
57.2610	52.91	0.3346	1.60894	12.79
61.9764	86.13	0.0836	1.49737	20.82
62.6182	118.48	0.1004	1.48356	28.64
69.3941	47.41	0.2007	1.35433	11.46
71.4413	18.01	0.8029	1.32047	4.35
74.9719	112.13	0.1224	1.26576	27.11
75.1950	74.72	0.1224	1.26569	18.06
77.7612	21.59	0.4896	1.22718	5.22

Hasil Pengujian XRD *Sinter 4* (25% Dolomit 75% *Limestone*)

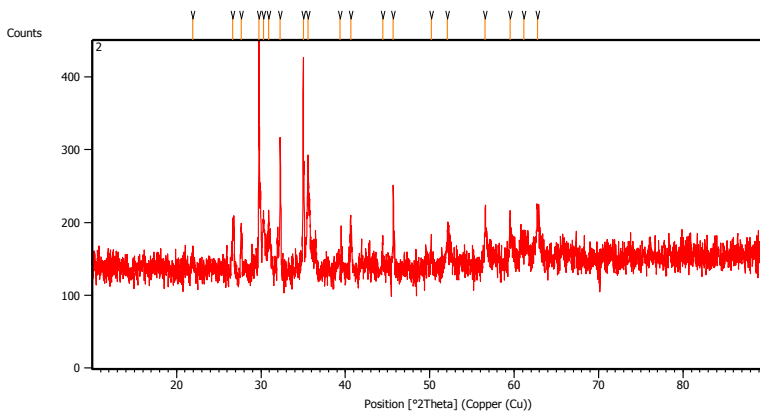


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.9526	65.73	0.2007	4.04898	17.78
22.7757	39.27	0.2007	3.90448	10.62
26.7037	231.87	0.1171	3.33839	62.72
27.6649	54.75	0.2007	3.22455	14.81
28.1476	89.41	0.1338	3.17034	24.18
29.8797	321.68	0.1171	2.99039	87.01
30.2887	162.73	0.1338	2.95094	44.02
31.1666	144.61	0.1004	2.86979	39.11
32.2523	49.97	0.3346	2.77562	13.52
34.9808	176.57	0.0836	2.56512	47.76
35.6476	369.71	0.1338	2.51866	100.00
36.4655	96.91	0.3346	2.46402	26.21
39.6529	23.48	0.5353	2.27300	6.35
42.4075	101.56	0.1004	2.13151	27.47
42.9177	81.64	0.1004	2.10735	22.08
43.2922	63.74	0.1673	2.08998	17.24
44.4507	53.49	0.2007	2.03816	14.47

45.0813	55.33	0.2007	2.01111	14.97
50.2176	23.87	0.4015	1.81680	6.46
52.2270	66.34	0.2007	1.75153	17.94
56.5784	72.98	0.2007	1.62672	19.74
57.3713	49.99	0.4015	1.60611	13.52
62.9003	55.84	0.4015	1.47758	15.10
73.9419	28.60	0.4015	1.28188	7.73

Hasil Pengujian XRD *Sinter 5* (100% *Limestone*)

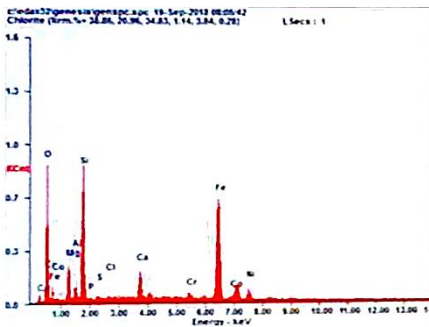


Peak List:

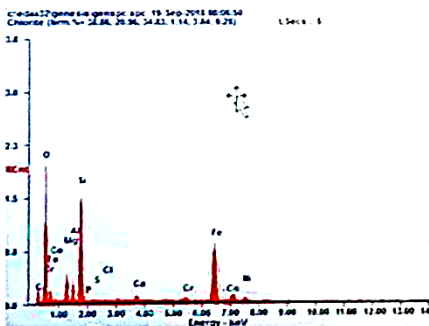
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.9355	29.39	0.2676	4.05210	8.79
26.6708	68.22	0.2007	3.34245	20.41
27.6857	55.85	0.1338	3.22218	16.71
29.7489	334.27	0.0502	3.00323	100.00
30.3048	81.49	0.2007	2.94940	24.38
30.9294	63.33	0.3346	2.89125	18.95
32.2820	191.20	0.0502	2.77314	57.20
35.0153	296.80	0.0502	2.56267	88.79
35.5949	129.92	0.1338	2.52226	38.87

39.3586	11.12	0.6691	2.28931	3.33
40.6681	55.84	0.2007	2.21857	16.71
44.4521	25.52	0.2007	2.03811	7.63
45.6761	118.78	0.0612	1.98465	35.54
50.1755	32.23	0.2007	1.81822	9.64
52.1069	46.82	0.2007	1.75528	14.01
56.5643	63.24	0.1004	1.62709	18.92
59.5524	42.47	0.2007	1.55239	12.71
61.1340	21.03	0.5353	1.51597	6.29
62.7570	62.11	0.2676	1.48061	18.58

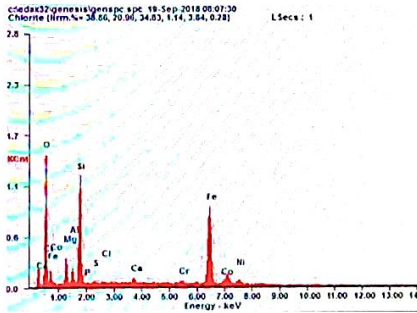
Hasil Pengujian EDX Biji Nikel Laterit



Element	Wt %	At %
O K	17.96	36.45
MgK	05.80	07.74
AlK	01.73	02.08
SiK	15.90	18.38
PK	00.28	00.29
SK	00.32	00.33
ClK	00.32	00.30
CaK	04.46	03.61
CrK	01.55	00.97
FeK	44.92	26.12
CoK	00.02	00.89
NiK	01.76	02.85

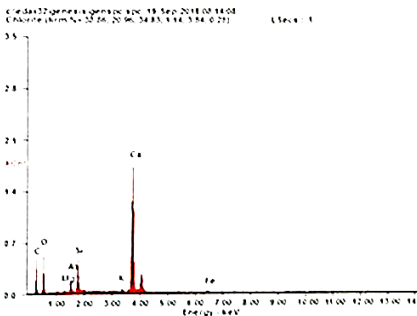


Element	Wt %	At %
O K	27.18	47.53
MgK	06.19	07.13
AlK	03.08	03.20
SiK	19.95	19.88
PK	00.14	00.12
SK	00.20	00.18
ClK	00.17	00.13
CaK	01.55	01.08
CrK	01.11	00.60
FeK	36.01	18.04
CoK	00.02	00.59
NiK	01.59	01.57

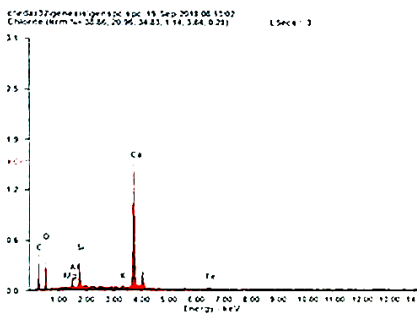


Element	Wt %	At %
O K	20.00	39.23
MgK	05.74	07.40
AlK	02.69	03.12
SiK	17.49	19.53
PK	00.13	00.13
SK	00.28	00.27
CLK	00.10	00.09
CaK	01.08	00.84
CrK	01.22	00.74
FeK	45.09	25.33
CoK	00.02	00.90
NiK	01.43	07.40

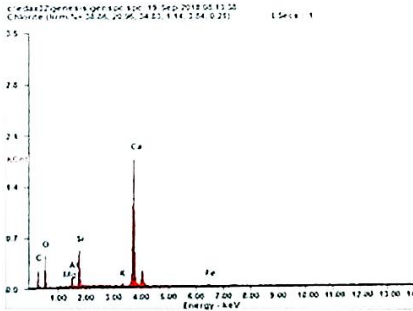
Hasil Pengujian EDX *Limestone*



Element	Wt %	At %
CK	12.22	22.40
OK	32.95	45.33
MgK	00.67	00.60
AlK	02.85	02.33
SiK	06.05	04.74
KK	00.65	00.36
CaK	42.98	23.60
FeK	01.62	00.64

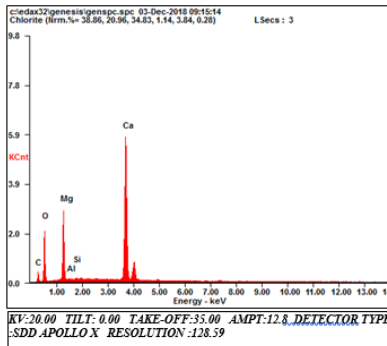


Element	Wt %	At %
CK	12.56	22.47
OK	35.89	48.19
MgK	00.60	00.53
AlK	02.26	01.80
SiK	05.44	04.16
KK	00.67	00.37
CaK	40.33	21.61
FeK	02.25	00.87



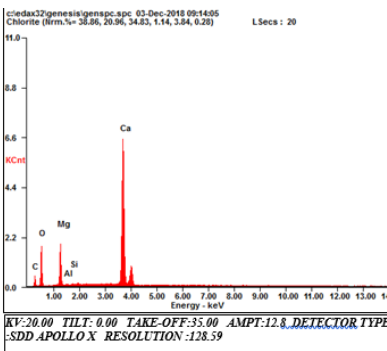
Element	Wt.%	At.%
C K	08.29	15.97
O K	32.95	47.64
Mg K	00.44	00.41
Al K	02.19	01.88
Si K	08.03	06.61
K K	00.66	00.39
Ca K	45.71	26.38
Fe K	01.73	00.72

Hasil Pengujian EDX Dolomit



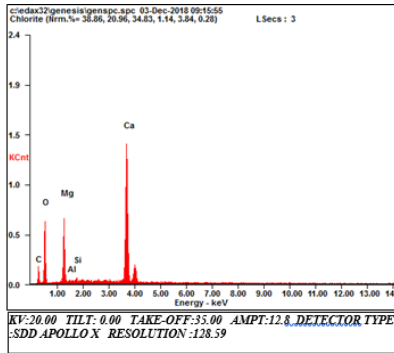
Element	Wt %	At %
C K	03.61	06.75
O K	39.77	55.79
Mg K	15.26	14.09
Al K	00.42	00.35
Si K	00.42	00.33
Ca K	40.52	22.69

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS_SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	03.47	06.69
O K	38.47	55.66
Mg K	10.61	10.10
Al K	00.27	00.23
Si K	00.26	00.22
Ca K	46.92	27.10

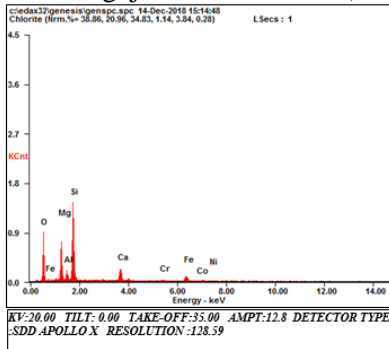
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS_SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	04.98	08.91
O K	43.73	58.70
Mg K	13.04	11.52
Al K	00.73	00.58
Si K	00.83	00.64
Ca K	36.68	19.66

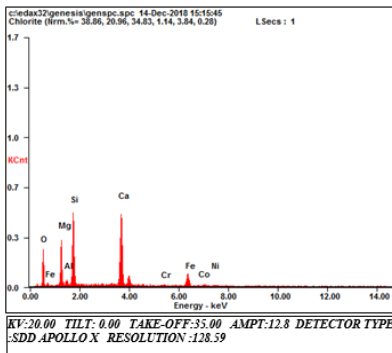
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Sinter 1 (100% Dolomit)



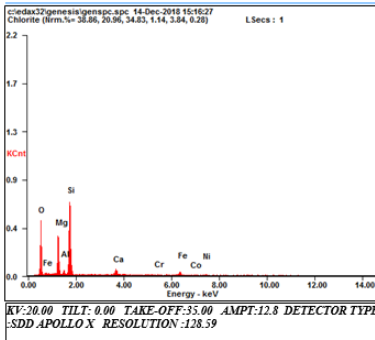
Element	Wt %	At %
O K	33.89	49.26
Mg K	15.86	15.17
Al K	03.66	03.16
Si K	28.78	23.83
Ca K	07.06	04.10
Cr K	01.22	00.55
Fe K	07.43	03.09
Co K	00.77	00.30
Ni K	01.34	00.53

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	27.02	44.00
Mg K	13.34	14.30
Al K	01.65	01.60
Si K	18.29	16.97
Ca K	25.29	16.44
Cr K	00.66	00.33
Fe K	11.11	05.19
Co K	00.79	00.35
Ni K	01.83	00.81

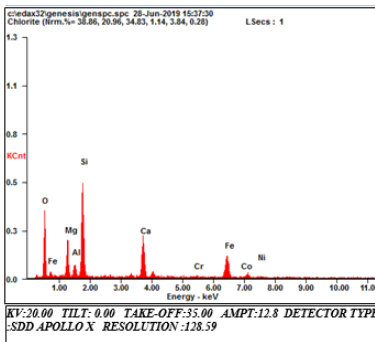
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	38.48	53.56
MgK	16.59	15.20
AlK	01.51	01.24
SiK	30.84	24.45
CaK	03.55	01.97
CrK	00.77	00.33
FeK	05.86	02.33
CoK	00.35	00.13
NiK	02.05	00.78

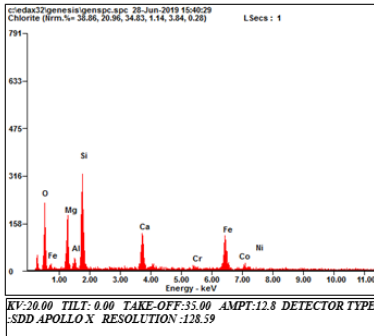
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Sinter 2 (75% Dolomit 25% Limestone)



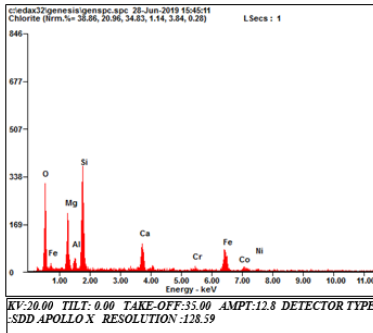
Element	Wt %	At %
OK	29.91	48.33
MgK	09.72	10.34
AlK	02.95	02.82
SiK	21.59	19.87
CaK	11.53	07.44
CrK	01.01	00.50
FeK	19.67	09.11
CoK	01.14	00.50
NiK	02.48	01.09

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	24.55	41.69
MgK	13.27	14.83
AlK	02.65	02.67
SiK	20.93	20.24
CaK	09.51	06.45
CrK	02.02	01.06
FeK	23.13	11.25
CoK	02.10	00.97
NiK	01.83	00.85

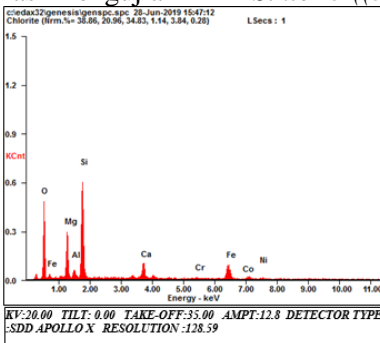
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	32.39	50.12
MgK	13.46	13.71
AlK	02.76	02.54
SiK	21.69	19.11
CaK	07.88	04.87
CrK	01.47	00.70
FeK	17.40	07.71
CoK	01.07	00.45
NiK	01.87	00.79

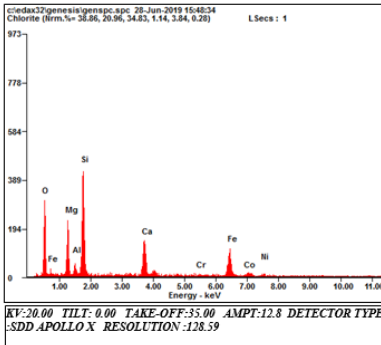
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Sinter 3 ((50% Dolomit 50% Limestone))



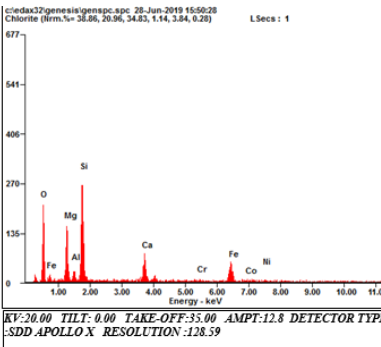
Element	Wt %	At %
O K	33.25	50.37
MgK	13.30	13.26
AlK	02.23	02.00
SiK	26.15	22.56
CaK	05.66	03.42
CrK	01.24	00.58
FeK	15.06	06.53
CoK	00.96	00.39
NiK	02.15	00.89

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	30.63	48.63
MgK	12.44	13.00
AlK	02.08	01.96
SiK	21.66	19.59
CaK	09.89	06.27
CrK	00.78	00.38
FeK	18.95	08.62
CoK	01.46	00.63
NiK	02.11	00.91

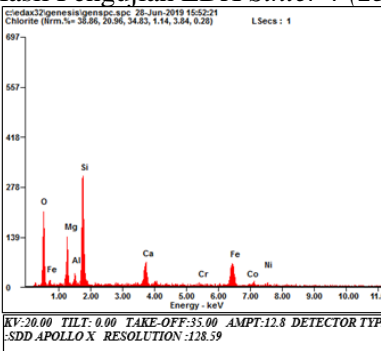
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	31.36	48.57
MgK	13.97	14.24
AlK	02.75	02.52
SiK	23.63	20.85
CaK	07.47	04.62
CrK	01.09	00.52
FeK	16.59	07.36
CoK	01.01	00.42
NiK	02.13	00.90

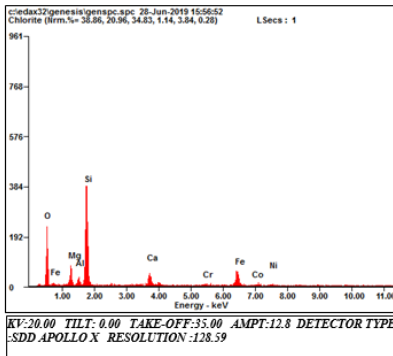
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX Sinter 4 (25% Dolomit 75% Limestone)



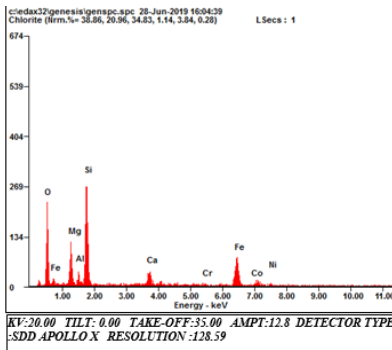
Element	Wt %	At %
O K	30.02	48.26
MgK	10.31	10.91
AlK	02.52	02.40
SiK	23.66	21.67
CaK	07.49	04.81
CrK	01.63	00.80
FeK	20.76	09.56
CoK	01.15	00.50
NiK	02.46	01.08

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
OK	31.65	49.57
MgK	05.95	06.14
AlK	02.17	02.02
SiK	31.86	28.42
CaK	06.65	04.15
CrK	01.08	00.52
FeK	16.92	07.59
CoK	01.21	00.52
NiK	02.52	01.07

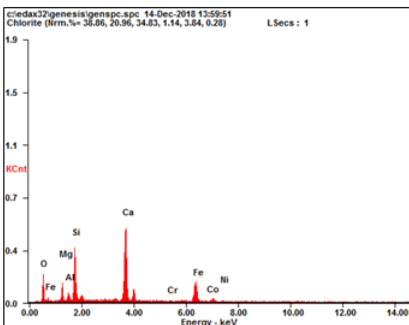
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



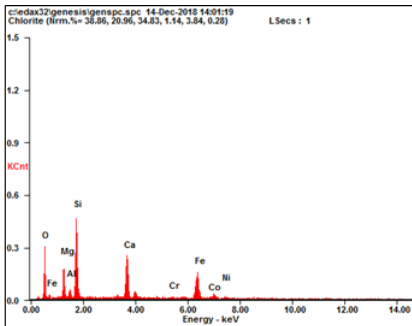
Element	Wt %	At %
OK	30.06	48.47
MgK	10.64	11.29
AlK	02.31	02.21
SiK	23.76	21.82
CaK	05.03	03.24
CrK	01.14	00.57
FeK	23.14	10.69
CoK	01.53	00.67
NiK	02.39	01.05

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

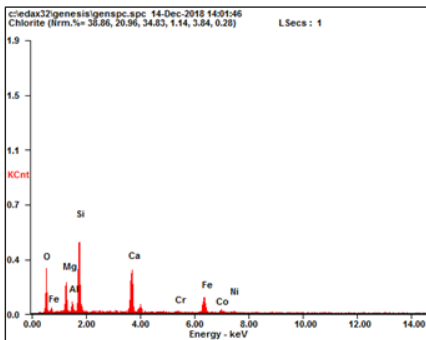
Hasil Pengujian EDX Sinter 5 (100% Limestone)



Element	Wt %	At %
OK	22.36	40.69
MgK	06.23	07.46
AlK	02.51	02.70
SiK	14.38	14.90
CaK	28.64	20.81
CrK	00.74	00.42
FeK	22.18	11.56
CoK	01.03	00.51
NiK	01.92	00.95



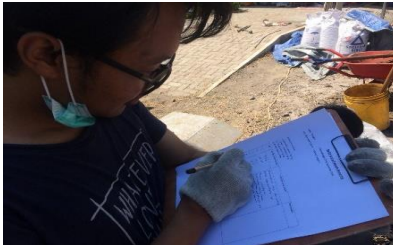
<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
<i>O K</i>	23.75	41.46
<i>MgK</i>	10.22	11.74
<i>AlK</i>	02.30	02.38
<i>SiK</i>	19.71	19.60
<i>CaK</i>	14.50	10.11
<i>CrK</i>	00.93	00.50
<i>FeK</i>	25.15	12.58
<i>CoK</i>	01.21	00.57
<i>NiK</i>	02.24	01.07



<i>Element</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
<i>O K</i>	27.32	45.02
<i>MgK</i>	10.15	11.01
<i>AlK</i>	02.22	02.17
<i>SiK</i>	21.69	20.36
<i>CaK</i>	17.53	11.53
<i>CrK</i>	01.10	00.56
<i>FeK</i>	16.72	07.89
<i>CoK</i>	00.76	00.34
<i>NiK</i>	02.50	01.12

Dokumentasi





BIODATA PENULIS



Penulis bernama Habli Masyahid dilahirkan di Lubuk Alung pada tanggal 27 Maret 1998. Penulis menempuh sekolah dasar di SDN 13 Lubuk Alung pada tahun 2003 hingga 2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di MTsN Lubuk Buaya Kota Padang hingga tahun 2012. Pada jenjang selanjutnya, penulis menempuh pendidikan di MAN/MAPK Koto Baru Padang Panjang hingga tahun 2015. Sejak tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi antara lain menjadi staff BSO Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS, staff Lembaga Dakwah Jurusan Ash-Haabal Kahfi, Middle JMMI ITS, serta asisten Laboratorium Pengolahan Mineral. Penulis ikut berpartisipasi dalam proyek Pengolahan Bijih Nikel Laterit Menggunakan Teknologi *Mini Blast Furnace*. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Medco Energi pada bulan Juni-Juli 2018 dan memiliki topik selama kerja praktik dengan judul “Pengendalian Korosi pada Pipa 16” Rambutan-Gunung Megang dengan Menggunakan Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa (*Impressed Current Cathodic Protection*) Divisi *Surface Facilities Engineering* PT. Medco Energi.” Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang metalurgi ekstraksi dengan judul “Analisis Pengaruh Rasio Massa *Limestone* dan Dolomit Terhadap Kadar Ni, Kekuatan *Sinter* dan Perolehan *Sinter* Pada Proses *Sintering* Bijih Nikel Laterit”. Apabila terdapat saran, kritik, maupun diskusi lebih lanjut bagi pembaca dapat menghubungi penulis melalui *e-mail*: hablimasyahid@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)